

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce
z oceli P92

Qualification of Homogenous Welded Joint on the
Pipe of Steel P92

Student:

Bc. Jakub Pospíšil

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Pospíšil**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce z oceli P92**
Qualification of Homogenous Welded Joint on the Pipe of Steel P92

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii modifikovaných 9-12%Cr ocelí pro energetiku
2. Popište proces kvalifikace svarových spojů
3. Navrhněte technologický postup svařování trubky z oceli P92 metodou 141+111, pWPS
4. Proveďte zkušební svarový spoj
5. Vyhodnoťte výsledky destruktivních a nedestruktivních zkoušek
6. Zpracujte vzor WPQR a vyslovte závěry

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN ISO 15614-1 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování oceli a obloukové svařování niklu a slitin niklu. ČNI, květen 2005
Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Skripta pro výuku svářečských inženýrů a technologů, ZEROSS Ostrava, leden 2001
KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I*. skripta VŠB – TUO, Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0870-6
VODÁREK, V. *Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12)% Cr ocelí*. monografie VŠB – TUO, Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0329-1
Odborné články z konferencí METAL, CREEP, COST, LIEGE Conference, aj.

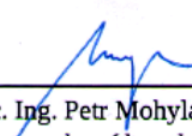
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

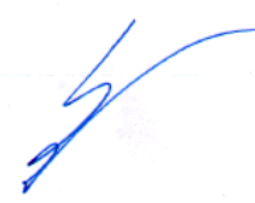
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

18. 5. 2015



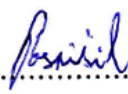
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

18.5.2015


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jakub Pospíšil

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dolní Studénky 170, 788 20 Dolní Studénky

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

POSPÍŠIL, J. *Kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce z oceli P92: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 62 s. Vedoucí práce: Mohyla, P.

Diplomová práce se věnuje procesu kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce z oceli P92. Úvodní teoretická část uvádí studii současného stavu modifikovaných 9-12%Cr ocelí, které jsou aplikovány v energetickém průmyslu. Druhá kapitola popisuje systém jakosti ve svařování a proces kvalifikace svarových spojů. V praktické části práce je popsán samotný postup experimentu, který zahrnuje návrh technologického postupu svařování zkušební trubky metodami 141 a 111. Výsledkem je návrh předběžné specifikace postupu svařování (pWPS). Následující část se zabývá zhotovením zkušebního svarového spoje a také vyhodnocením nedestruktivních a destruktivních zkoušek svařování. V závěru práce je shrnuta diskuze dosažených výsledků. Výstupem provedeného experimentu je protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR).

ANNOTATION OF MASTER THESIS

POSPÍŠIL, J. *Qualification of Homogenous Welded Joint on the Pipe of Steel P92: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 62 p. Thesis head: Mohyla, P.

This master thesis describes the process of qualification homogenous weld joint on the tube of steel P92. The theoretical part presents a study of the current state of modified 9-12% Cr steels, which are applied in the power industry. The second chapter describes the quality system in the welding process and qualification of welded joints. The practical part describes the procedure of the experiment, which includes the design of technological process of welding pipe test methods 141 and 111, the result is to design a preliminary welding procedure specifications (pWPS). The following section deals with the fabrication and testing of weld joint and also assessing non-destructive and destructive tests of welding. In the conclusion is summarized discussion of results. The outcome of the experiment is a protocol for welding procedure qualification (WPQR).

Obsah

1	Úvod	10
2	Studie modifikovaných 9-12%Cr ocelí pro energetiku	11
2.1	Vývoj modifikovaných 9-12%Cr ocelí	11
2.2	Charakteristika vybraných martenzitických 9-12%Cr ocelí	14
2.2.1	Ocel X20CrMoV12-1 (X20).....	15
2.2.2	Ocel X10CrMoVNb9-1 (T/P91).....	16
2.2.3	Ocel X11CrMoWVNb9-1-1 (E911)	17
2.2.4	Ocel X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)	17
2.2.5	Ocel X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC).....	18
2.3	Účinky chemických prvků na vlastnosti modifikovaných 9-12%Cr ocelí.....	19
2.4	Struktura modifikovaných 9-12%Cr ocelí za zvýšené teploty.....	21
2.4.1	Ferit delta (δ).....	22
2.4.2	Karbidy $M_{23}C_6$	22
2.4.3	Fáze typu MX a M_2X	23
2.4.4	Lavesova fáze	24
2.5	Mikrostruktura 9-12%Cr ocelí	25
3	Svařování v systému jakosti a kvalifikace svarových spojů	26
3.1	Vytváření systému jakosti	26
3.2	Systém jakosti v procesu svařování	27
3.3	Proces kvalifikace svarových spojů	30
3.3.1	Kvalifikace postupu svařování dle normy ČSN EN ISO 15614-1	32
3.3.2	Průběh kvalifikace postupu svařování v praxi	32
4	Návrh technologického postupu svařování trubky z oceli P92.....	36
4.1	Experimentální materiál	36
4.2	Návrh metod svařování a příprava svarových ploch.....	37
4.3	Přídavné materiály	38
4.4	Parametry svařování.....	39
4.5	Tepelné zpracování	41
5	Proces zhotovení zkušebního svarového spoje	42
5.1	Postup zhotovení zkušebního svarového spoje:	42
6	Výsledky nedestruktivních zkoušek (NDT).....	46
6.1	Vizuální kontrola (VT).....	46
6.2	Kapilární zkouška (PT)	46
6.3	Zkouška prozářením (RT)	47
7	Výsledky destruktivních zkoušek.....	48
7.1	Příčná zkouška tahem.....	48
7.2	Zkouška ohybem (lámavosti).....	49

7.3	Zkouška rázem v ohybu	50
7.4	Zkouška tvrdosti	51
7.5	Zkouška makrostruktury	53
8	Vyhodnocení experimentu	54
9	Závěr	56
	Seznam použité literatury	58
	Seznam příloh.....	62

Seznam použitých značek a symbolů

Označení	Výklad	Jednotka
ARA	Diagram anizotermického rozpadu	[-]
A ₅	Tažnost	[%]
A _{C3}	Teplota konce austenitické transformace při ohřevu	[°C]
HB	Tvrдость dle Brinella	[-]
HNO ₃	Kyselina dusičná	[-]
HV 10	Tvrдость dle Vickerse při zatížení 98 N	[-]
J-L045	Poloha svařování - od vrcholu svaru dolů, trubka pevná, osa 45°	[-]
KC	Vrubová houževnatost	[J·cm ⁻²]
KV	Nárazová práce	[J]
KV ₂	Nárazová práce pro zkušební tyč s V vrubem 2 mm	[J]
Mo _{ekv}	Ekvivalentní obsah molybdenu	[hm. %]
M _s	Teplota počátku martenzitické transformace	[°C]
NDT	Nedestruktivní zkoušky	[-]
N _{ss}	Volný obsah dusíku	[hm. %]
PC	Poloha svařování - poloha vodorovná	[-]
PH	Poloha svařování - poloha svislá zdola nahoru	[-]
PJ	Poloha svařování - vodorovná shora dolů	[-]
PM	Přídavný materiál	[-]
PT	Kapilární zkouška	[-]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{mT}	Mez pevnosti při tečení	[MPa]
R _{mT/105h/600°C}	Mez pevnosti při tečení za dobu 10 ⁵ h při teplotě 600 °C	[MPa]
R _{p0,2 min}	Smluvní mez kluzu	[MPa]
RT	Zkouška prozářením	[-]
SK	Svarový kov	[-]
T	Celsiova teplota	[°C]
TIG	Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
VHT	Vrub v tepelně ovlivněné oblasti	[-]
VT	Vizuální kontrola	[-]
VWT	Vrub ve svarovém kovu	[-]

WPQR	Záznam o kvalifikaci postupu svařování	[-]
WPS	Specifikace postupu svařování	[-]
Z	Kontrakce	[%]
ZM	Základní materiál	[-]
pWPS	Předběžná specifikace postupu svařování	[-]
t	Čas	[h]
t _r	Doba do lomu při creepové expozici	[h]

1 Úvod

V dnešní moderní době si život bez elektrické energie nedokážeme představit, a proto se její výroba řadí k podstatným odvětvím celosvětového průmyslu. Světový rozvoj zapříčiňuje trvale zvyšující se zájem o elektrickou energii, což způsobuje neustálý vývoj v energetice. Tento vývoj je především zaměřen na zvýšení účinnosti energetických zařízení. Stoupající účinnost se projevuje zvýšením efektivity energetických zařízení a hlavně dochází ke snižování škodlivých emisí, což přispívá k zlepšování životního prostředí.

Zvyšování účinnosti energetických zařízení je přímo úměrné s růstem pracovních parametrů páry. Dosahuje se tzv. „superkritických“ parametrů páry (teplota nad 600 °C, tlak nad 26 MPa). U zařízení pracujících s těmito „superkritickými“ parametry páry se předpokládá zvýšení účinnosti z 35 % až na 45 %, čímž by byl dosažen významný pokles škodlivých emisí. Je zapotřebí zdůraznit, že pro tyto zařízení se musí zpřísnit požadavky na vlastnosti konstrukčních materiálů, jelikož pracují v oblasti creepového namáhání. Za tímto účelem se používají moderní žárovevné oceli. Do této skupiny patří i modifikované 9-12%Cr oceli.

Žárovevné vlastnosti martenzitických 9-12%Cr ocelí jsou dány převážně chemickým složením a mikrostrukturou. Jejich chemické složení ovlivňuje výslednou mikrostrukturu, která závisí na tepelném zpracování. Nutné předpoklady pro prosperující rozvoj těchto ocelí jsou klíčové vědomosti o mikrostrukturním vývoji a degračních mechanismech, které probíhají v průběhu vysokoteplotní expozice [1].

Kritickým místem každého energetického zařízení namáhaného v oblasti creepu jsou svarové spoje, kde dochází k degradaci mechanických vlastností a žárovevnosti. Ke snížení žárovevnosti dochází, jak ve svarovém kovu, tak i v jednotlivých pásmech tepelně ovlivněné oblasti svarového spoje [1].

Cílem diplomové práce bylo realizovat proces kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce z oceli P92. Experiment zahrnoval výrobu zkušebního svarového spoje podle navržené předběžné specifikace postupu svařování (pWPS). Následně byl zkušební spoj testován nedestruktivními a destruktivními zkouškami. Všechny zkoušky vyhověly předepsaným hodnotám požadované kvalifikace, proto mohl být schválen protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR), který je výsledkem této práce.

2 Studie modifikovaných 9-12%Cr ocelí pro energetiku

Zásluhou neustálého úsilí o zvyšování účinnosti tepelných elektráren na základě růstu parametrů páry, spolehlivosti a životnosti se požaduje nepřetržité zkoumání nových řešení pro splnění náročných požadavků, které jsou kladeny na žárovevné oceli. Z žárovevných ocelí jsou navrhovány důležité konstrukční komponenty energetických zařízení (např. kotlové bubny a sběrače, skříně a rotory parních i spalovacích turbín, potrubní systémy a další). Ty pracují za vysokoteplotních a vysokotlakých provozních podmínek, při níž je materiál zatěžován v oblasti creepového namáhání. Ukázalo se, že nejefektivnější předpoklady zajistí modernizace, resp. modifikace chemického složení dosud používaných ocelí. Základní podstatou modifikace je snížení obsahu uhlíku, zavedení přísady wolframu v množství 1-2% a mikrolegur Nb, B a N [2,3].

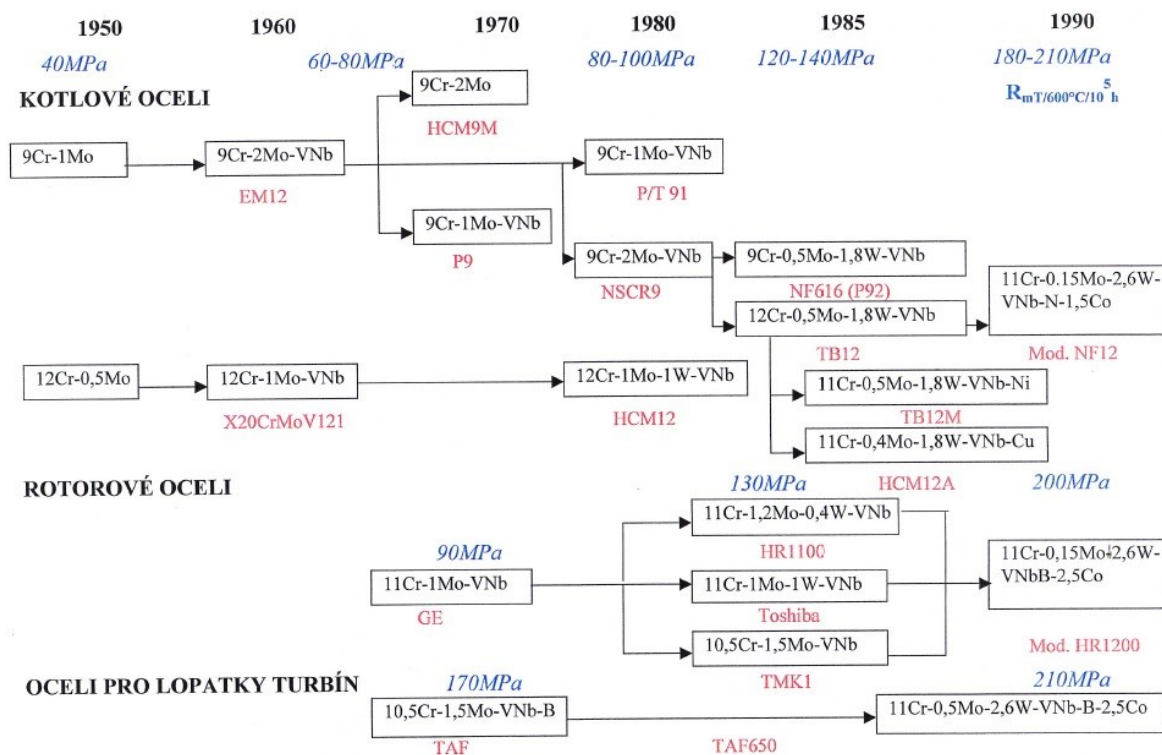


Obrázek 2.1 - Komora ostré páry z oceli P92 [4].

2.1 Vývoj modifikovaných 9-12%Cr ocelí

Vývoj 9-12%Cr ocelí sahá až do roku 1912, kdy německý výrobce oceli vynalezl 12%Cr ocel odolnou proti korozi s přísadkou 2-5% molybdenu. Ocel však nenašla komerční využití. Zrychlený vývoj ocelí s vyšším obsahem Cr nastal v roce 1950 v Německu, kdy byla vyvinuta ocel X20CrMoV12-1. Tato ocel umožňovala konstruovat uhelné elektrárny s vyššími pracovními parametry. Od roku 1970 se vývoj ocelí pro tepelnou energetiku soustředil hlavně do USA a do Japonska. V USA byla vynalezena ocel T/P91 s creepovou odolností o 50% vyšší než u oceli X20CrMoV121 při 600 °C. V polovině 80. let se vývoj nových ocelí legovaných wolframem přesunul do Japonska.

Profesor Fujita z univerzity v Tokiu vyvinul novou feriticko-martenzitickou ocel TB9 legovanou wolframem a bórem, později nazývanou NF 616. Tato ocel byla schválena ASME v roce 1994 pod známým označením P92 [5].



Obrázek 2.2 - Schéma vývoje 9-12%Cr ocelí [6].

Vývoj žárovzdorných ocelí je úzce svázán především s rozvojem energetického průmyslu [2]. O nejvýznamnější zásluhy ve vývoji energetických ocelí nové generace se zapřičinili tři celosvětové výzkumné organizace [7]:

- Evropa - COST (Cooperatoin in the Field of Scientific and Technical Research)
- Japonsko - EPDC (Electric Power Development Center)
- USA - EPRI (Electric Power Research Institute)

Realizace tak rozsáhlých projektů vývoje nových žárovzdorných ocelí je zásluhou spolupráce velkého počtu výzkumných, zkušebních a výrobních organizací z řad mnoha celosvětových zemí [6].

Vývojové práce modifikovaných 9-12%Cr ocelí byly především orientovány na splnění následných požadavků [6,8]:

- $R_{mT/10^5h/600^\circ C} \geq 100 \text{ MPa}$,
- $R_{p0,2 \text{ min}} = 600 \text{ MPa}$ u ocelí pro rotory a $R_{p0,2 \text{ min}} = 450 \text{ MPa}$ u ocelí pro odlitky a tvářené polotovary,
- lomová tažnost při creepu a houževnatost by měla být ekvivalentní nebo lepší než u klasických nízkolegovaných 1CrMoV ocelí,
- odolnost proti zkřehnutí v průběhu dlouhodobé expozice při pracovních teplotách,
- dobrá tvářitelnost za tepla,
- dobré slévárenské vlastnosti,
- prokalitelnost přinejmenším do $\varnothing 1200 \text{ mm}$ u rotorů a do $\varnothing 500 \text{ mm}$ u odlitků,
- zlepšení svařitelnosti,
- dobrá odolnost vůči oxidaci v prostředí vodní páry.

Je logické, že současné dosažení velmi vysoké úrovně všech požadovaných mechanických a technologických vlastností u jediné oceli je nereálné. Proto je vývoj nových ocelí prováděn zvlášť pro základní kategorie výrobků, tj. turbíny, kotle a odlitky, u kterých jsou prioritní vlastnosti poněkud rozdílné [6].

Evropské programy vývoje modifikovaných 9-12%Cr ocelí pro použití do 600°C byly zahájeny v 80. letech minulého století. Dominantní role náleží programům COST, ale kromě toho existuje celá řada národních i mezinárodních projektů. Program COST 501 (1989-1997) studoval řadu taveb ocelí s empiricky navrženými obsahy uhlíku, chromu, molybdenu, vanadu, wolframu, niobu, dusíku a bóru. V závěru tohoto programu byly vyvíjeny oceli pro aplikace až do teploty 620°C . V roce 1998 byl zahájen program COST 522, jehož cílem byl vývoj martenzitických 9-12%Cr ocelí pro aplikace do teplot až 650°C s požadovanou úrovní žárovevnosti $R_{mT/10^5h/650^\circ C} = 100 \text{ MPa}$ [6].

Výzkumné aktivity v Japonsku zabývající se mechanismy zpevnění 9-12%Cr ocelí navrhly řadu perspektivních ocelí s vysokými predikovanými hodnotami $R_{mT/10^5h/600^\circ C}$, které dosahovaly až 200 MPa . Je však třeba vzít v potaz, že v těchto případech byly pro výpočet převážně použity výsledky relativně krátkodobých zkoušek tečení ($t_r \leq 5 \cdot 10^3 \text{ hod}$), a proto jsou predikované hodnoty pravděpodobně výrazně nadhodnocené.

O tom svědčí nové výsledky zkoušek tečení při nižších aplikovaných napětích, na základě kterých jsou původně predikované vysoké hodnoty $R_{mT/10^5h/600^\circ\text{C}}$ postupně snižovány. Výzkumný program STX 21 byl zaměřen na vývoj kotlových ocelí pro použití při vstupní teplotě páry 650°C . V rámci tohoto programu byly podrobně studovány vlivy různých prvků, včetně velmi nekonvenčních prvků, na žárupevné vlastnosti modifikovaných 9-12%Cr ocelí [6].

Americký výzkumný program byl zaměřen především na vývoj ocelí pro tlustostěnné trubky s předpokládanou aplikační teplotou až do 620°C . Vývojové práce se zabývaly především výrobou reálných komponentů a dlouhodobých mechanických zkoušek, jak základního materiálu, tak i homogenních a heterogenních svarových spojů. Na základě získaných výsledků byly v ASME autorizovány oceli P92 a P122. Do tohoto programu byla aktivně zapojena celá řada významných amerických, evropských i japonských společností [6].

2.2 Charakteristika vybraných martenzitických 9-12%Cr ocelí

Vývojové trendy popsané v předchozí kapitole jsou úzce spjaté s modifikací chemického složení žárupevných ocelí [5]. Mezi základní představitele skupiny moderních martenzitických 9-12%Cr ocelí patří následující oceli [9]:

- X20CrMoV12-1 (X20)
- X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
- X11CrMoWVNb9-1-1 (E911)
- X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)
- X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)

Chemické složení a mechanické vlastnosti těchto základních martenzitických žárupevných ocelí jsou uvedeny v tabulkách 2.1 a 2.2.

Tabulka 2.1 - Chemické složení vybraných 9-12%Cr ocelí [8,10].

Označení		Prvky v hm. %											
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	N	B	Co
Martenzitické oceli (9-12%Cr)	X20CrMoV12-1 (X20)	0,17 - 0,23	< - 0,50	< - 1,00	10,0 - 12,5	0,30 - 0,80	0,80 - 1,20	0,25 - 0,35	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
	X10CrMoVNb9-1 (P91)	0,08 - 0,12	0,20 - 0,50	0,30 - 0,60	8,00 - 9,50	< - 0,40	0,85 - 1,05	0,18 - 0,25	- - -	0,06 - 0,10	0,030 - 0,070	- - -	- - -
	X11CrMoWVNb9-1-1 (E911)	0,09 - 0,13	0,10 - 0,50	0,30 - 0,60	8,50 - 9,50	0,10 - 0,40	0,90 - 1,10	0,18 - 0,25	0,90 - 1,10	0,06 - 0,10	0,05 - 0,09	- - -	- - -
	X10CrWMoVNb9-2 (P92)	0,07 - 0,13	< - 0,50	0,30 - 0,60	8,50 - 9,50	< - 0,40	0,30 - 0,60	0,15 - 0,25	1,50 - 2,00	0,04 - 0,09	0,03 - 0,07	0,001 - 0,006	- - -
	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12)	0,11	0,45	0,20	11,5	0,28	0,23	0,24	1,40	0,065	0,055	0,003	1,30

Tabulka 2.2 - Mechanické vlastnosti vybraných 9-12%Cr ocelí [8].

Označení		R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	KV [J]	A ₅ [%]
Martenzitické oceli (9-12%Cr)	X20CrMoV12-1 (X20)	≥ 500	700 - 850	≥ 39	≥ 16
	X10CrMoVNb9-1 (P91)	≥ 450	620 - 850	≥ 41	≥ 17
	X11CrMoWVNb9-1-1 (E911)	≥ 450	620 - 850	≥ 41	≥ 17
	X10CrWMoVNb9-2 (P92)	≥ 440	620 - 850	≥ 27	≥ 17
	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12)	≥ 450	620 - 850	≥ 27	≥ 17

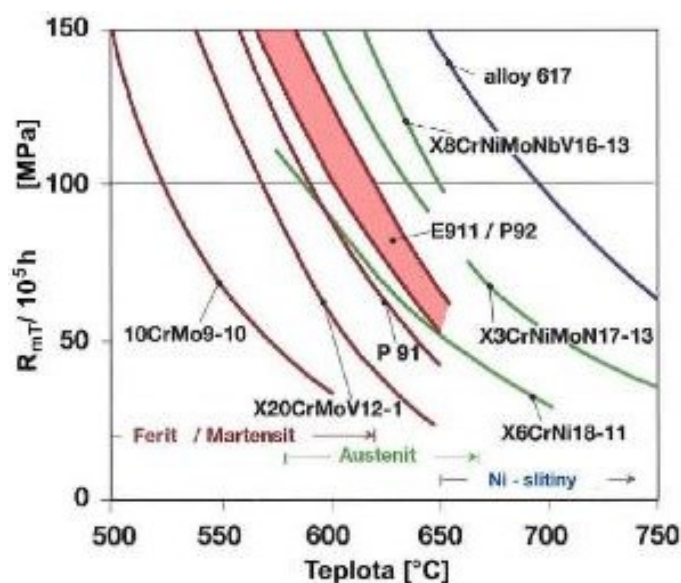
2.2.1 Ocel X20CrMoV12-1 (X20)

Tuto ocel, která se používala už v padesátých letech minulého století, můžeme označit jako hlavního průkopníka mezi modifikovanými 9-12%Cr ocelmi, protože její chemické složení bylo použito k vývoji nových moderních ocelí tohoto typu. Chemické složení této oceli bylo modifikováno snížením obsahu uhlíku, legováním 1-2% wolframu a mikrolegur niobu, bóru a dusíku [8].

Vysoká creepová pevnost oceli X20CrMoV12-1 umožnila její použití pro konstrukci parovodů v energetických blocích se zvýšenými parametry páry. V polovině osmdesátých let minulého století byla ocel použita v blocích s nadkritickými parametry páry (540 °C/25 MPa) a v roce 1992 byl dosažen maximální limit použití (560 °C/25 MPa) [6].

Praktické zkušenosti s použitím této oceli v parovodech jsou velmi dobré. Nicméně v několika případech byly zaznamenány problémy s nedostatečnou úrovní creepové pevnosti oceli v důsledku chybného režimu tepelného zpracování na jakost. Bylo prokázáno, že i v případech, kdy výrobky splňují všechny požadavky na krátkodobé mechanické vlastnosti podle dodacích podmínek, nelze vyloučit, že materiál bude vykazovat nedostatečnou úroveň creepové pevnosti. V této souvislosti je doporučeno doplnit předepsané mechanické zkoušky ověřením mikrostrukturního stavu [6].

Aplikační oblast použití jednotlivých druhů martenzitických ocelí závisí na řadě kritérií. Mezi hlavní kritéria se řadí teplota, tlak a médium [5]. Obrázek 2.3 poukazuje na nižší mez pevnosti při tečení materiálu X20CrMoV12-1 v porovnání k ostatním 9-12%Cr ocelím (P91, E911 a P92). Srovnání také zahrnuje standardní feritické oceli, austenitické oceli a Ni slitiny (alloy 617) [4].

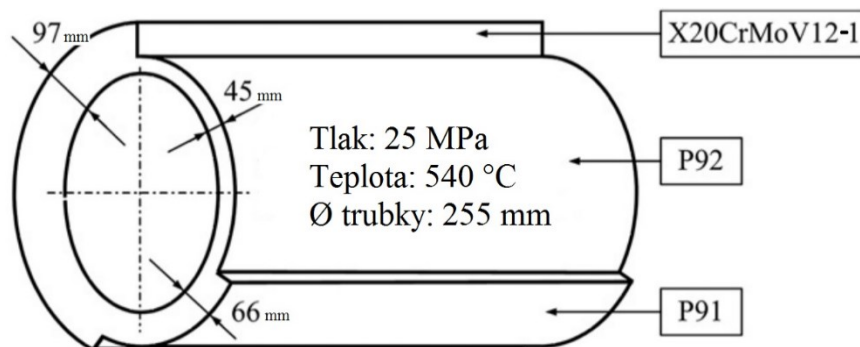


Obrázek 2.3 - Používané materiály trubek pro rozvod ostré páry v elektrárnách [4].

2.2.2 Ocel X10CrMoVNb9-1 (T/P91)

Zhruba od roku 1990 byla ocel X20CrMoV12-1 nahrazena ocelí P91 [4]. Tato ocel je základním představitelem moderních 9%Cr ocelí. Vznikla optimalizací přísad niobu, vanadu a dusíku do klasické 9%Cr-1%Mo oceli. Díky této modifikaci má lepší svařitelnost, technologické a užitné vlastnosti než ocel X20CrMoV12-1. Hodnota $R_{mT}/10^5 h/600^\circ\text{C}$ se zvýšila téměř na dvojnásobek. Takto vysoké úrovně creepové pevnosti bylo dosaženo díky optimálnímu mikrostrukturnímu stavu [6,8].

Příznivé mechanické vlastnosti oceli P91 umožňují snížení tloušťek stěn potrubí ve srovnání s ocelí X20CrMoV12-1. Tím dochází k výraznému snížení hmotnosti konstrukcí energetických zařízení, což přináší větší možnosti při návrhu a samostatné výstavbě těchto zařízení [8]. Na obrázku 2.4 je znázorněn rozdíl tloušťky při aplikaci ocelí X20, P91 a P92.



Obrázek 2.4 - Redukce tloušťky stěny potrubí při použití ocelí X20, P91 a P92 [9].

2.2.3 Ocel X11CrMoWVNb9-1-1 (E911)

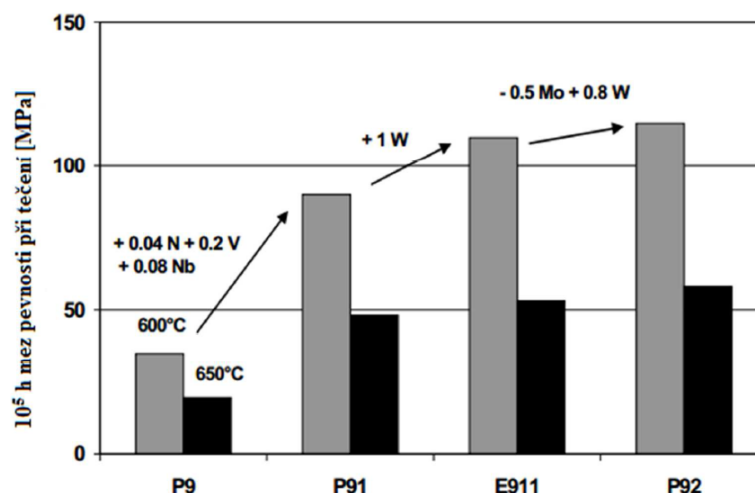
Ocel E911 byla vyvinuta v rámci už zmiňovaného programu COST 501 [6]. Patří do skupiny žárovzdomných ocelí obsahující 9%Cr s přísadou wolframu. Její chemické složení je podobné jako u oceli P92. Ve srovnání s ocelí P92 obsahuje vyšší nárůstek molybdenu a naopak o něco nižší přísadu wolframu. Ocel se používá k výrobě komponentů kotlů s nadkritickými parametry (topná tělesa, topné komory a parovody) [9].

Na základě krátkodobých zkoušek tečení bylo predikováno, že ocel E911 bude vykazovat vyšší úroveň creepové pevnosti než oceli s obdobným složením, ale bez přísady wolframu. Analýza výsledků zkoušek tečení v nízkonapěťové oblasti však prokázala, že úroveň žárovevnosti oceli E911 je prakticky srovnatelná. To vedlo k závěru, že přísada 1% W nevedla ke zvýšení dlouhodobé meze pevnosti při tečení zmiňované oceli [6].

2.2.4 Ocel X10CrWMoVNB9-2 (T/P92)

Ocel P92 je jedna z nejpoužívanějších ocelí při výstavbách moderních energetických zařízení. Primární aplikace této oceli je v sekundárních ohřívačích páry v elektrárnách s nadkritickými parametry. Používá se na tlustostěnné trubky o velkých průměrech, komory a parovody pracující za extrémních teplotních a tlakových podmínek [9].

Při teplotě 600 °C dosahuje hodnot meze pevnosti při tečení $R_{mT/10^5h/600^\circ C} = 110\text{--}120\text{ MPa}$. Na rozdíl od ocelí P91 a E911 obsahuje pouze malé množství dusíku ($\sim 0,02\%$), aby byla potlačena vazba bóru na dusík. Mikrostrukturní stabilitu této oceli pozitivně ovlivňuje malá rychlost hrubnutí částic $M_{23}C_6$, která úzce souvisí s rozpuštěním atomů bóru v dané fázi [6].



Obrázek 2.5 - Vývoj vybraných 9-12%Cr ocelí, který srovnává mez pevnosti při tečení pro teploty 600 °C a 650 °C [11].

2.2.5 Ocel X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)

Ocel VM12-SHC je nejnovější z výše popisovaných ocelí. Její vývoj byl zapříčiněn nedostatečnou teplotou použitelnosti výše diskutovaných ocelí (max. 620 °C). Důvodem byla nedostatečná odolnost proti okujení při vyšších teplotách. Pro tyto účely jsou zapotřebí materiály se zvýšeným obsahem chromu. Proto firma Vallourec-Mannesmann vyvinula 12%Cr ocel (VM 12) pro použití do teplot max. 650 °C [4]. Kromě chromu, který zvyšuje tepelnou odolnost oceli a způsobuje zvýšení feritu ve struktuře, dále obsahuje přísady 1,4-1,8% Co a 1,3–1,7% W. Přídavek kobaltu snižuje obsah feritu podobným způsobem jako nikl, ale kobalt nesnižuje teplotu martenzitické transformace [9].

Pro svařování této oceli platí stejné zásady jak u ocelí P91 a P92. S ohledem na její chemické složení byla pouze snížena maximální teplota interpass na 280 °C a popouštěcí teplota byla zvýšena na 770 °C. Ocel VM12 – SHC se také vyznačuje zvýšenou korozní odolností při pracovních teplotách ve srovnání s ocelí P92. Proto bude pravděpodobně více používána pro konstrukci kotlů s nadkritickými parametry páry [12].

2.3 Účinky chemických prvků na vlastnosti modifikovaných 9-12%Cr ocelí

V průběhu vývoje modifikovaných 9-12%Cr ocelí byly postupně optimalizovány obsahy jednotlivých prvků s cílem zvýšit především mez pevnosti při tečení při dostatečné úrovni lomové tažnosti. Vliv jednotlivých prvků na mikrostrukturu a vlastnosti diskutovaných ocelí lze charakterizovat následovně [6]:

Uhlík

Podporuje vznik martenzitické struktury a zvyšuje její pevnost. Vyšší obsahy uhlíku však zvyšují tvrdost martenzitu, podstatně zhoršují svařitelnost oceli a snižují creepovou pevnost. Proto v současné době obsahují oceli tohoto typu do 0,1% C, na rozdíl od původních variant, které obsahovaly až 0,25% C. Tím se podstatně zlepšila svařitelnost a tvárnost oceli. Snížení obsahu uhlíku je kompenzováno řízeným dolegováním dusíkem [8].

Dusík

Zvyšuje pevnost materiálu a žárovevnost podporou tvorby nitridů na bázi V nebo karbonitridů Nb. Proto se jeho obsah v nově vyvíjených materiálech zvyšuje až na max. 0,09% (ocel E911) [8], vyšší hodnoty obsahu dusíku způsobují degradaci žárovevných vlastností [6]. Pro žárovevnost oceli je důležitý tzv. volný dusík N_{ss} , který není vázaný na Al, Ti, a Nb a proto je volný pro tvorbu jemných nitridů vanadu v době popouštění a creepové expozice [8].

Bór

Malé množství bóru v modifikovaných 9-12%Cr ocelí má velmi pozitivní vliv na úroveň žárovevných vlastností a rovněž na odolnost vůči zkřehnutí [6]. Ve stavu po normalizaci je bór vysegregovaný na hranicích původních austenitických zrn. Při popouštění dochází k jeho přerozdělení mezi matrici a vznikající $M_{23}C_6$ karbidy, kde může nahradit až 50% C. V matrici se bór nachází v minimálním množství. V karbidech je rozložen náhodně. I přes pokrok v experimentální technice je mechanismus zvyšování creepové pevnosti řízeného obsahu bóru stále nejasný [8].

Chrom

Vysoký obsah chromu v těchto ocelích zlepšuje korozní odolnost až do teploty 700 °C [8], ale negativně ovlivňuje rozměrovou stabilitu chromem bohatých karbidů typu $M_{23}C_6$, které mají výrazný vliv na úroveň žárovevnosti [6]. Spolu s přísadou dalších legujících prvků chromu zvyšuje odolnost proti popouštění. Zvýšený obsah Cr kromě tvorby karbidů také snižuje M_s na teploty cca 400 °C. K získání ocele s úplně martenzitickou strukturou po normalizaci se do ocele dolegovávají také další feritotvorné prvky jako molybden a křemík [8].

Molybden, wolfram

Jejich přísada do ocelí umožňuje zvýšit úroveň zpevnění tuhého roztoku. Vzhledem k obdobnému působení těchto prvků se jejich obsah vyjadřuje pomocí následujícího vztahu [6]:

$$Mo_{ekv} = hm.\%Mo + 0,5(hm.\%W) \quad (1)$$

Příspěvek molybdenu nebo wolframu ke zpevnění tuhého roztoku je limitován mezi rozpustností těchto prvků v kovové matici při teplotě creepové expozice. Názory na optimální obsah těchto prvků v ocelích 9-12%Cr jsou odlišné [6], ale s ohledem na dlouhodobé hodnoty žárovevnosti by neměla být hodnota Mo_{ekv} větší než 1,0 [8].

Vanad, niob

Přísady vanadu v obsahu 9-12%Cr ocelí způsobují precipitační zpevnění kovové matrice jemnými částicemi typu MX. Niob slouží pro omezení růstu zrna austenitu během dlouhodobé výdrže na vysokých teplotách v průběhu tepelného zpracování [6].

Nikl, mangan, kobalt, měď

Tyto austenitické prvky mohou být použity pro kompenzaci účinků feritotvorných prvků na konstituci ocelí. Je ovšem známo, že nikl způsobuje degradaci žárovevných vlastností 9-12%Cr ocelí, a proto je jeho obsah v moderních ocelích velice nízký. V nejnovějších ocelích se mnohdy aplikují přísady kobaltu nebo mědi, ale účinek těchto prvků není zatím zcela jasný. Kobalt, na rozdíl od ostatních austenitotvorných prvků, zvyšuje teplotu M_s , ale jeho nevýhodou je poměrně vysoká cena. Obsah manganu je

většinou nízký, protože snižuje transformační teploty a negativně ovlivňuje chemické heterogenity ocelí [6].

Křemík

Vyvolává zpevnění tuhého roztoku. Křemík má pozitivní vliv na odolnost vůči oxidaci, ale negativně ovlivňuje chemickou heterogenitu ingotů. Obsah křemíku ve zmiňovaných ocelích je závislý na druhu aplikace, pro kterou je požadovaná ocel vyvíjena [6].

Hliník

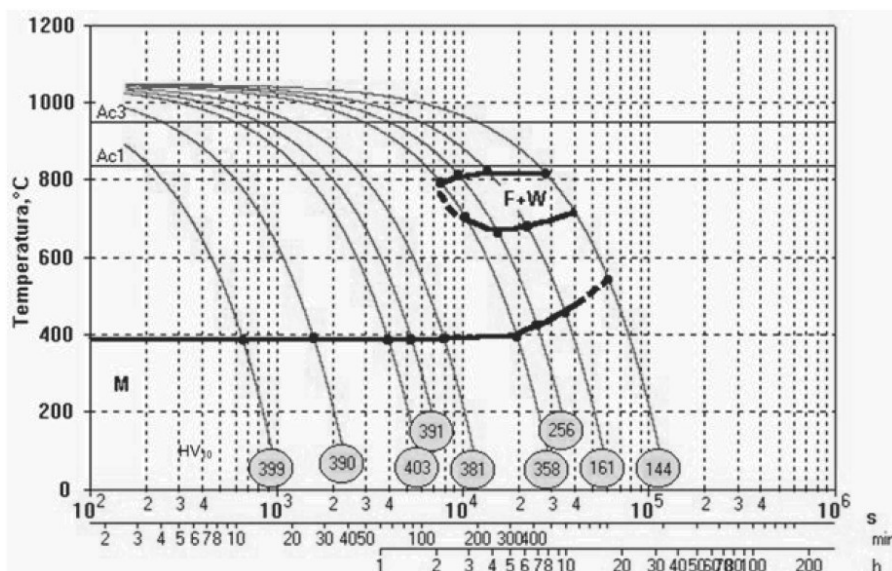
Má velice negativní vliv na žárovečnost martenzitických 9-12%Cr ocelí, hlavně s ocelmi, které obsahují přísady dusíku. Proto je nezbytné minimalizovat obsah hliníku v těchto žárovzdorných ocelích [6].

Síra, fosfor

Pro dosažení vysokých pevnostních a plastických vlastností modifikovaných 9-12%Cr ocelí je potřeba zabezpečit jejich vysokou metalurgickou čistotu [8].

2.4 Struktura modifikovaných 9-12%Cr ocelí za zvýšené teploty

Modifikované oceli s obsahem 9-12%Cr jsou používány ve stavu kaleném na vzduchu a následně jsou vysokopopouštěné. Proces austenitizace probíhá obvykle 30-50 °C nad teplotou přeměny A_{C3} (1020-1100 °C) způsobuje rozpuštění většiny karbidů a nitridů v matici. Nerozpuštěné karbonitridy niobu během austenitizace mají rozhodující vliv na omezení růstu zrna. Teplota popouštění je v rozmezí 600-800 °C v závislosti na chemickém složení a požadovaných vlastnostech. Tyto oceli vykazují strukturu popouštěného martenzitu s karbidy $M_{23}C_6$ a disperzními fázemi typu MX a MN i feritem delta [2].



Obrázek 2.6 - ARA diagram oceli P92 [13].

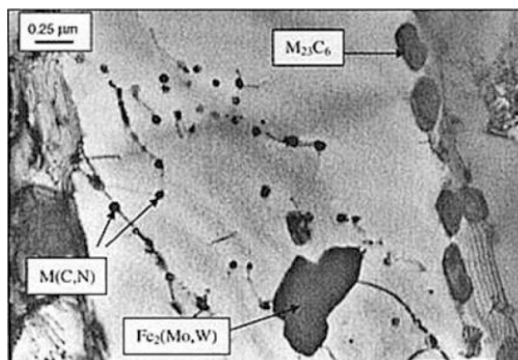
2.4.1 Ferit delta (δ)

Pro získání plně martenzitické struktury v těchto ocelích se vyžaduje vytvoření struktury austenitu bez feritu delta během ochlazování a celé přeměny austenitu na martenzit během ochlazování z teploty kalení kolem 1050 °C. Závisí to současně na účasti austenitotvorných prvků: Ni, Mn, Cu, Co, C a N, také feritotvorných, tj. Cr, Si, Mo, W, V a Nb a rovněž na rychlosti ochlazování. Na vyvážení těchto skupin prvků se stabilizuje za vysokých teplot delta ferit, což snižuje prokalitelnost oceli, zhoršuje svařitelnost a vhodnost oceli pro zpracování tvářením. Obsah feritu delta ve struktuře v množství kolem 5 % zlepšuje svařitelnost martenzitických i austenitických ocelí [2].

2.4.2 Karbidy $M_{23}C_6$

Hlavními precipitáty v ocelích 9-12%Cr jsou $M_{23}C_6$ a jako sekundární roztoky obsahují Cr, Fe, Mo a W. Jednou z vlastností karbidů, zejména těch, vznikajících při vysoké teplotě popouštění nebo během dlouhodobé exploataci, je to, že se vyskytují na hranicích zrn popouštěných desek martenzitu, a zamezují růstu zrn feritu v důsledku výskytu procesů zotavení a rekystalizace. Dodávají tedy oceli velkou pevnost při tečení, neboť z počátku jsou vyloučeny v disperzní formě na hranicích zrn a subzrn. Tepelná stabilita karbidů $M_{23}C_6$ není poměrně vysoká, a proto je v praktických podmínkách karbid $M_{23}C_6$ nežádoucí fází. Z prodloužení doby tečení (exploatace) karbidy $M_{23}C_6$ jako tuhé roztoky mění své chemické složení a vykazují náchylnost ke změně morfologie, zejména

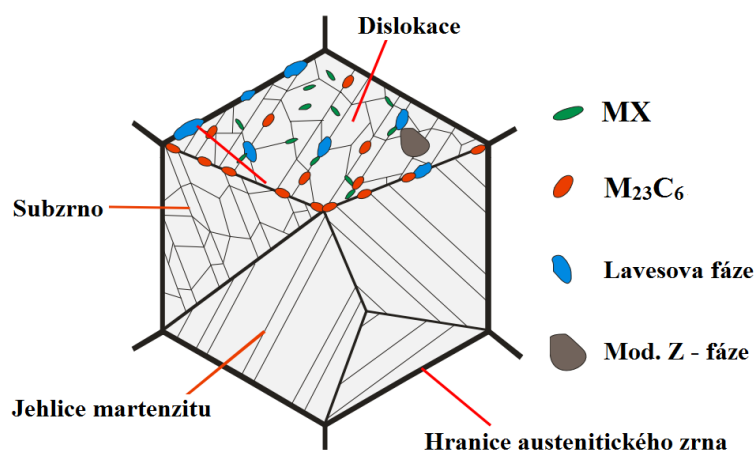
ke zhrubnutí částic a rozdělení v matici (koncentrují se na hranicích zrn). V důsledku toho nastává pokles mechanických vlastností a usnadnění vzniku zárodků dutin na hranicích zrn feritu [2].



Obrázek 2.7 - Snímek oceli P92 poukazující na karbidy $M_{23}C_6$ a Lavezovu fázi $Fe_2(Mo, W)$ [14].

2.4.3 Fáze typu MX a M_2X

Fáze typu MX (kde $M = V$ a Nb , $X = C$ a N), tzn. karbonitridy mají disperzní formu. Při vyloučení uvnitř zrn a subzrn zakotvují dislokace a omezují jejich pohyb, čímž brzdí proces zotavení a zajišťují vysokou pevnost při tečení během dlouhodobé exploatace. Jejich tepelná a morfologická stabilita je velmi vysoká. V ocelích, obsahujících 9% Cr a Mo, během austenitizace při teplotě 1050 °C zůstává část precipitátů MX nerozpuštěna a zamezuje tak prudkému růstu zrna. Fáze typu M_2X se vyskytují ve struktuře sporadicky a nejčastěji jako přechodové fáze [2].

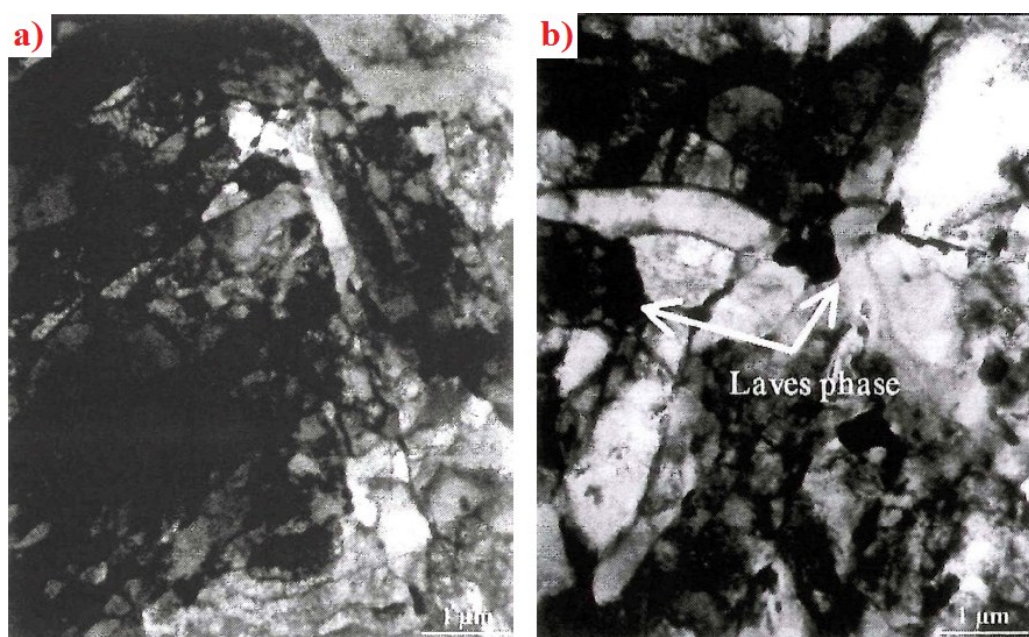


Obrázek 2.8 - Schematické znázornění vývoje mikrostruktury 9-12% Cr ocelí po creepové expozici [15].

2.4.4 Lavesova fáze

V ocelích s 12% Cr obsahujících W a Mo je během dlouhodobého žíhání základním procesem vylučování Lavesova fáze ve formě Fe_2W (nejsnadněji ve feritu delta). V oceli obsahující Mo, bez W, ferit delta se rozpadá už po krátké době žíhání a před vznikem Lavesovy fáze Fe_2W . Z termodynamických výpočtů pro stav fázové rovnováhy plyne, že v ocelích s obsahem 9-12%Cr s Mo a přídavkem W je možné vylučování Lavesovy fáze při teplotě 700 °C. Avšak dlouhodobé tečení, a zejména skutečná, nestacionární zatížení, vyskytující se v podmínkách exploatace zajisté sníží teplotu a dobu vylučování Lavesovy fáze [2].

Literární údaje na téma úlohy a působení wolframu na zpevnění oceli během dlouhodobého tečení nejsou jednotné. Do nedávné doby bylo přijímáno, že precipitáty Lavesovy fáze jsou spjaty s ochuzením tuhého roztoku o Mo a W, tj. prvky zpevňující matici a současně snižujícími pevnost při tečení. Výsledky zkoušek tečení po době 10^4 h ukázaly, že precipitáty Lavesovy fáze během tečení způsobují významné zpevnění oceli, přitom zpevnění tuhého roztoku wolframem je málo významné. Precipitáty Lavesovy fáze v těchto ocelích jsou výhodné za podmínky, že jsou poměrně jemné a nezpůsobí snížení odolnosti oceli proti křehkému porušení. Je třeba uvažovat rovněž o náchylnosti Lavesovy fáze k růstu, což snižuje pevnost oceli při tečení. Legující prvky, omezující precipitaci Lavesovy fáze a její nárůst (např. bor), vedou rovněž ke zvýšení pevnosti při tečení [2].

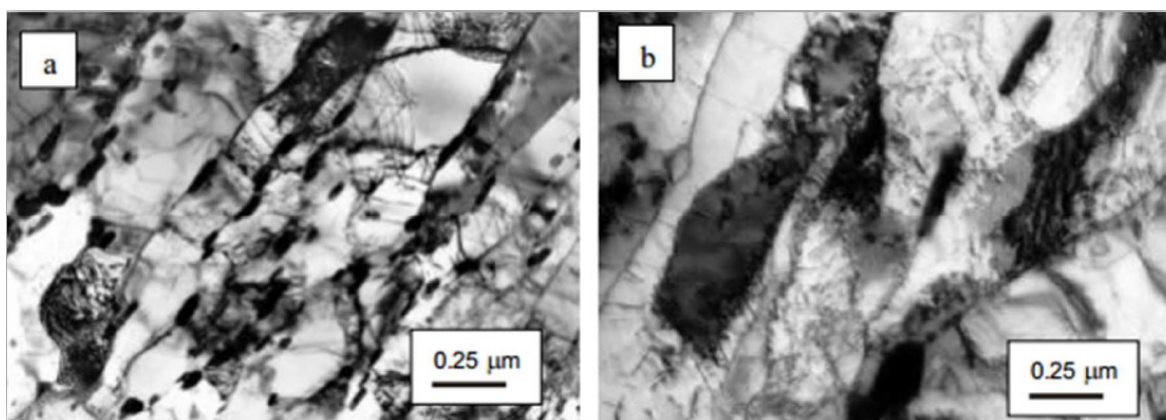


Obrázek 2.9 - Mikrostruktura oceli P92: a) bez Lavesovy fáze, b) s výskytem Lavesovy fáze [14].

2.5 Mikrostruktura 9-12%Cr ocelí

Podstatnou součástí vývoje žárupevných ocelí je detailní mikrostrukturní analýza, která umožňuje získat důležité poznatky o základních mechanismech zpevnění a degradace mikrostruktury ocelí v průběhu tepelného zpracování. Především během dlouhodobého žhání nebo creepové expozice. Tyto informace jsou strategické, jak pro další optimalizaci chemického složení vyvíjených ocelí, tak pro verifikaci správnosti výsledků matematického a fyzikálního modelování [6].

Experimentální výsledky jednoznačně svědčí o tom, že ocele s vyšší mikrostrukturní stabilitou dosahují vyšší úrovně žárupevných vlastností. Odolnost modifikovaných 9-12%Cr ocelí vůči creepové deformaci je v oblasti dislokačního creepu determinovaná kinetikou zotavení a rekrytalizace kovové matrice. Tyto procesy mohou být efektivně bržděny. Hlavně interakcemi mezi dislokacemi, případně hranicemi martenzitických latic/subzrn a částicemi minoritních fází. V této souvislosti je třeba věnovat zvláštní pozornost termodynamické a rozměrové stabilitě fází, které mohou v předmětné skupině fází precipitovat [6].



Obrázek 2.10 - Mikrostruktura oceli P92 po austenitizaci: a) teplota 970 °C, b) teplota 1145 °C s následným popouštěním na teplotě 775 °C [11].

3 Svařování v systému jakosti a kvalifikace svarových spojů

Problematika svařování je současný fenomén, který dnes prolíná celým průřezem činností výrobní organizace, kde je používáno. Proto je nutné svařování chápat jako komplexní problém, na jehož řešení se musí podílet prakticky všichni zaměstnanci organizace, kteří zajišťují realizaci výroby. Většina organizací zhotovuje výrobky nebo poskytuje služby určené k uspokojení potřeb zákazníka. Hlavním požadavkem zákazníka je záruka kvality [16].

Kvalita je jedním z nejsilnějších nástrojů při pronikání výrobku na domácí i zahraniční trhy. Požadavky na zvýšení jeho jakosti nemusí vždy vést k dalšímu nárůstu výrobních nákladů, ale vždy je třeba počítat s razantním zvýšením nároků na kvalitu personálu. Abychom pochopili význam koncepcí zajištění jakosti, musíme si předem uvědomit, že kvalitu výrobku nelze získat kontrolou. Výrobek se musí kvalitně vyrábět od jeho vzniku až do jeho dokončení a předání odběrateli [17].

3.1 Vytváření systému jakosti

Uvádění výrobku na trh je v současné době v každém státě spojeno s řadou právně technických úkonů, které musí výrobce i dovozce splňovat. Plnění těchto povinností ochraňuje v přiměřené míře zdraví a život spotřebitele i životní prostředí. Jestliže jde o výrobky z řízení oblasti, musí být shoda jejich vlastností s technickými předpisy prokázána před uvedením na trh. Vychází se z předpokladu, že za výrobek odpovídá vždy zásadně výrobce. Proto je prokázání shody výrobku s požadavky předpisů povinností výrobce [17].

K dosažení a udržení příznivých výsledků ekonomické činnosti je nutné stále zvyšování kvality, protože i ze strany zákazníků je neustálý trend růstu požadavků na jakost. To vede k zavedení různých systémů pro zabezpečování jakosti a následně k rozvoji norem a směrnic v oblasti systému jakosti, které doplňují technické požadavky. Systémy jakosti v organizacích ovlivňují především jejich záměry, druh výrobku nebo služby a specifičnost jejich činnosti [16].

Pro vytváření systému kvality se používá soubor norem řady ČSN EN ISO 9000. Základní normy tohoto systému managementu kvality jsou rozděleny následovně:

ČSN EN ISO 9000:2006 - Systémy managementu kvality - Základní principy a slovník.

V této normě jsou popsány základy a zásady systémů managementu kvality, které jsou předmětem norem řady ISO 9000 a jsou definovány související termíny [18].

ČSN EN ISO 9001:2009 - Systémy managementu kvality - Požadavky.

V této normě jsou specifikovány požadavky na systém managementu kvality v případech, kdy organizace potřebuje prokázat svoji schopnost trvale poskytovat produkt, který splňuje požadavky zákazníka a příslušné požadavky předpisů a kdy má v úmyslu zvyšovat spokojenost zákazníka, a to efektivní aplikací systému, včetně procesů pro jeho neustálé zlepšování [18].

ČSN EN ISO 9004:2010 - Řízení udržitelného úspěchu organizace - Přístup managementu kvality.

Norma poskytuje návod sloužící jako podpora dosahování trvale udržitelného úspěchu jakékoli organizace působící v neustále se měnícím prostředí. Poskytuje širší pohled na systémy managementu kvality než norma ISO 9001 a podrobněji rozpracovává některá dílčí témata, jako jsou například management znalostí a inovace [18].

3.2 Systém jakosti v procesu svařování

Procesy, jejichž výsledky nemohou být plně ověřovány následnou kontrolou a zkoušením řadíme mezi tzv. „**zvláštní procesy**“. Zvláštní proces svařování kovů je procesem, při kterém konečný výsledek nemůže být zkoušením ověřen, protože kvalita svaru je skryta ve výrobku a běžnou kontrolou nemůže být zjištěna. Proces svařování je významný také tím, že v případě neřízení tohoto procesu může docházet k výskytu neshod v průběhu procesu a k radikálním negativním dopadům, ať už na daný majetek, životní prostředí, ale zejména zdraví lidí např. při manipulaci se svařovaným produktem. Svařování tedy vyžaduje přesně specifikovaný systém kontrol jako např. systém průběžné kontroly nebo dodržování stanovených postupů. Z tohoto důvodu je třeba do systému jakosti zahrnout všechny činnosti, které ovlivňují jakost svařování od samého počátku, a to stanovením požadavků na výrobek již ve fázi uzavírání smlouvy, jeho konstrukce, průběhu výroby, kontroly a při předání zákazníkovi do užívání [16,17,19].

Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů se zabývá norma ČSN EN ISO 3834 a to s účinností od 1.8.2006. Nahrazuje tak starší obdobu normy „EN 729 Požadavky na jakost při svařování - Tavné svařování kovových materiálů“ [20].

Norma se zabývá požadavky na kvalitu při svařování a především určuje požadavky na kontroly, zkoušky a postupy v procesu svařování, ale i hotových výrobků. Poskytuje výklad požadavků obsažených v ISO 9001 ve vztahu k zvláštnímu procesu svařování. Dává návod pro zavedení a udržování vybraných částí ze systému managementu kvality, které se vztahují k procesu svařování. Dále je také podkladem pro zpracování řízených dokumentů, popisujících stanovení požadavků na kvalitu svářečských prací a doporučuje postupy k posuzování specifikovaných kvalitativních požadavků v procesu svařování. Pro prokázání schopnosti provádět jakostní proces svařování musí výrobce zásady této normy zavést do svého systému výroby [19,21].

Norma „ČSN EN ISO 3834 - Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů“ se skládá z 6 částí [20]:

Část 1: Kritéria pro volbu odpovídajících požadavků na jakost.

Část 2: Vyšší požadavky na jakost.

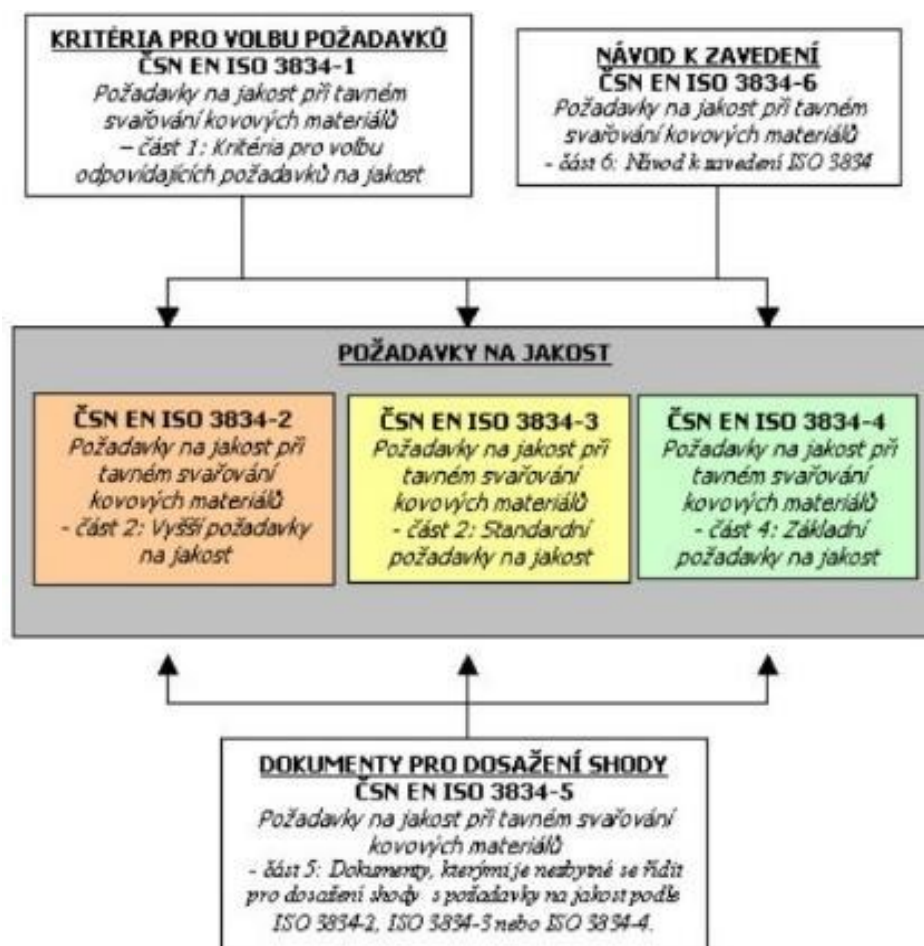
Část 3: Standardní požadavky na jakost.

Část 4: Základní požadavky na jakost.

Část 5: Dokumenty, kterými je nezbytné se řídit pro dosažení shody s požadavky na jakost podle ISO 3834-2, ISO 3834-3 nebo ISO 3834-4.

Část 6: Návod k zavedení ISO 3834.

Přičemž části 2, 3 a 4 definují rozdílné stupně složitosti požadavků na kvalitu. Pro systém jakosti procesu svařování tedy může být využito jednoho ze tří modelů [19].



Obrázek 3.1 - Struktura norem ČSN EN ISO 3834 [19].

Nejdůležitější prvek normy ČSN EN ISO 3834 je řízení dokumentů. Od výrobců se požaduje, aby zavedli postup pro řízení dokumentů, který zajišťuje, aby [21]:

- dokumenty byly platné,
- přidělení dokumentů bylo evidováno,
- neplatné dokumenty byly staženy a nepoužívaly se,
- byly archivovány záznamy k zabránění znehodnocení dokumentů a možnosti jejich obnovy, inovace, aktualizace,
- záznamy nebyly bez souhlasu zničeny.

3.3 Proces kvalifikace svarových spojů

Z předchozí kapitoly víme, že v systémech řízení jakosti je na svařování pohlíženo jako na „zvláštní proces“. Normy pro systém řízení jakosti obvykle požadují u „zvláštních procesů“ provádění podle písemně zpracovaných a odsouhlasených postupů. Specifikace postupů svařování je základem pro přesné stanovení svářečských a kontrolních operací v průběhu svařování [16,22].

Vypracování písemných postupů svařování je základním předpokladem, nikoliv však zárukou splnění požadavků. Některé odchylky, především vady a deformace mohou být posouzeny až na základě nedestruktivních zkoušek hotového výrobku. Velmi problémovou skupinu tvoří metalurgické odchylky, protože při současné úrovni nedestruktivních zkoušek není možné na jejich základě provést posouzení mechanických vlastností. To vedlo k vytvoření souboru pravidel pro schvalování postupů svařování před jejich použitím pro danou výrobu [16].

Požadavky na systém jakosti při výrobě zařízení zahrnují všechny oblasti a stadia v celém procesu svařování. Rozsah požadavků závisí na náročnosti výroby, důležitosti vyráběných zařízení a možných následcích při poruše během provozu. Pro tyto účely se v systému řízení jakosti ve svařování používá kvalifikace postupů svařování dle řady norem ČSN EN ISO 156XX. Splnění kvalifikačních požadavků vyplývajících z uvedené řady norem nemusí být dostačující pro aplikace kvalifikovaného postupu do výroby, případně montáže. Proto mohou být vyžadovány požadavky vycházející s příslušných smluv, výrobních norem, předpisů nebo právních předpisů odpovídající sortimentu výroby výrobce. Řada výrobních norem zpřísňuje kritéria pro vyhodnocení a rozšiřuje rozsah zkoušení [16,23,24].

V minulosti se pro proces a schvalování těchto postupů užívali normy řady ČSN EN 288 - 1 až 8. Převod těchto původních norem zahrnující požadavky na stanovení a kvalifikaci postupů svařování kovových materiálů byl ukončen a nahrazen již zmiňovanými řady norem ČSN EN ISO 156XX. Přehled nového systému číslování pro stanovení a kvalifikaci postupu svařování kovových materiálů je uveden v tabulce č. 3.1 [24,25].

Tabulka 3.1 - Podrobné rozdělení norem pro stanovení a kvalifikaci postupu svařování [22].

Metoda	Obloukové svařování	Plamenové svařování	Elektronové svařování	Laserové svařování	Odporové svařování	Přivařování svorníku	Třecí svařování
Všeobecná pravidla	EN ISO 15607						
Směrnice pro zařazení do skupin	CR ISO/TR 15608			Není použita		CR ISO/TR 15608	
WPS	EN ISO 15609-1	EN ISO 15609-2	EN ISO 15609-3	EN ISO 15609-4	EN ISO 15609-5	EN ISO 14555	EN ISO 15620
Vyzkoušené svařovací materiály	EN ISO 15610		Není použita				
Předchozí svářečská zkušenost	EN ISO 15611					EN ISO 14555 EN ISO 15611	EN ISO 15620 EN ISO 15611
Normalizovaný postup	pr EN ISO 15612				Není použita		
Předvýrobní zkouška	EN ISO 15613					EN ISO 14555 EN ISO 15611	EN ISO 15620 EN ISO 15611
Zkouška postupu svařování	prEN ISO 15614	prEN ISO 15614	prEN ISO 15614		prEN ISO 15614	EN ISO 14555	EN ISO 15620
	Část1:Ocel/nikl	Část1:Ocel/nikl	Část7:Navařování		Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování		
	Část2:Hliník	Část3:Litina	Část11:Elektronové svařování Laserové svařování				
	Část3:Litina	Část6:Měď					
	Část4:Oprava hlin.odlitéků	Část7:Navařování					
	Část5:Titán				Část13: Odtavovací a stlačovací stykové svařování		
	Část6:Měď						
	Část7:Navařování						
	Část8:Trubky do trubkovnice						
	Část9:Hyperbarické za mokra						
Část10:Hyperbarické za sucha							

Použití těchto norem určuje [24]:

- legislativní požadavky - do výrobního procesu vstupuje stát a proces je regulován zákonem 22/1997 Sb. O technických požadavcích na výrobky a příslušnými nařízeními vlády, na které navazují příslušné harmonizované výrobní normy,
- podmínky zákazníka, které vyplývají z technických dodacích podmínek apod.,
- nutnost, resp. validaci technologie s cílem přesvědčit zákazníka, že svařovací proces je monitorován a daná organizace má plně zvládnutý proces svařování vč. znalostí a informací o požadovaných vlastnostech svarového spoje.

Uvedený soubor norem se v průmyslové praxi již úspěšně aplikuje a celá řada společností považuje kvalifikaci postupů svařování za zcela běžnou. Ke kvalifikaci postupu svařování je tedy třeba přistupovat individuálně a již při žádosti o tento postup je třeba si uvědomit, kde bude kvalifikovaný postup aplikován, a které doplňkové požadavky bude dle výrobní normy třeba splnit [24].

3.3.1 Kvalifikace postupu svařování dle normy ČSN EN ISO 15614-1

Ze zmiňovaného souboru norem ČSN EN ISO 156XX je nejčastěji využívanou normou „ČSN EN ISO 15614-1 - Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu“. Je náhradou již nepoužívané normy ČSN EN 288-3. Oproti předchozí normě došlo k rozšíření oblasti použití nejen pro ocel, ale také pro nikel a slitiny niklu. Z hlediska metod svařování je navíc zahrnuto svařování plamenem [24,25].

O normě ČSN EN ISO 15614-1 můžeme prohlásit, že je výchozím podkladem pro kvalifikaci předběžné specifikace postupu svařování. Definuje podmínky pro provádění zkoušek, jejich odzkoušení a schválení. Veškeré vykonané zkoušky musí být provedeny podle této normy. Výrobními normami mohou být požadovány doplňující zkoušky. Proces kvalifikace svařových spojů se provádí na základě [24]:

- zpracovaného návrhu předběžného postupu svařování - pWPS,
- zhotovení a svaření zkušební kusu (zkušebních vzorků) podle vypracovaného návrhu pWPS,
- provedení daných zkoušek v předepsaném rozsahu této normy,
- vyhodnocení výsledků nedestructivních a destructivních zkoušek,
- při vyhovujících výsledcích zkoušek je vystaven protokol o schválení postupu svařování - WPQR.

3.3.2 Průběh kvalifikace postupu svařování v praxi

Tato kapitola blíže poukazuje na to, jak se v praxi aplikuje kvalifikace postupů svařování kovových materiálů (WPQR) dle normy ČSN EN ISO 15614-1. Celý průběh je popsán v následujících bodech a na závěr je schematicky znázorněn.

1) Žádost o provedení inspekce

Výrobce, požadující kvalifikaci postupu svařování (WPQR) zašle žádost, kde na základě výrobních požadavků a potřeb výrobce (druh svaru, tloušťka a druh svařovaného materiálu, metoda a poloha svařování, atd.) navrhne a zpracuje svářečský dozor předběžný postup svařování (pWPS), který je vhodný předem konzultovat s inspektorem zkušebního orgánu [26].

2) Přezkoumání a uzavření smluv

Inspektor zkušebního orgánu prověří, zda má výrobce vhodné svařovací zařízení umožňující kontrolovat předepsané parametry svařování, svářeče s platným oprávněním dle ČSN EN 9606-1, ČSN EN 9606-4 a zabezpečen svářečský dozor s kvalifikací dle ČSN EN ISO 14731. Po dohodě s výrobcem stanoví datum svařování zkušebního kusu včetně upřesnění rozsahu požadované dokumentace. Současně informuje výrobce o rozsahu požadovaných nedestruktivních a destruktivních zkoušek. Dojde k uzavření smlouvy mezi výrobcem a zkušebním orgánem [26].

3) Předběžná specifikace postupu svařování - pWPS

Předběžná specifikace postupu svařování (pWPS) dle ČSN EN ISO 15609-1,2 obsahuje všechny potřebné údaje včetně parametrů svařování. Svar, na který se vztahuje použitý postup svařování ve výrobě, musí být reprezentován normalizovaným zkušebním kusem nebo kusy [26].

4) Ostatní důležitá dokumentace

Tato dokumentace se předkládá inspektorovi, který jí musí zkontrolovat, patří zde následující dokumenty [27]:

- atesty k základním a přídavným materiálům, plynům, atd.,
- osvědčení o zkoušce svářeče,
- kalibrace/validace svářecích zdrojů, kalibrovaný klešťový ampérmetr a dalšího potřebného vybavení.

5) Příprava svarového spoje

Zkušební kus musí splňovat normou ČSN EN ISO 15614-1 stanovené rozměry, být řádně označen a jeho příprava musí být v souladu s „pWPS“, se kterou musí být svářeč prokazatelně seznámen [26].

6) Zhotovení kontrolního svarového spoje

Po splnění výše uvedených požadavků lze přistoupit k zhotovení kontrolního svarového spoje. Doporučuje se připravit pro každou „WPQR“ dvě sady vzorků (pro případ vzniku vad) a také, aby si svářeč svaření vzorků předem vyzkoušel. Výrobce vytvoří při zkoušce svařování takové podmínky na pracovišti svářeče, aby inspektor mohl nerušeně provést kontrolu přípravy zkušebnímu kusu a v průběhu svařování sledovat, jak jsou dodržovány parametry svařování dle „pWPS“. Během svařování kontroluje inspektor dodržování celého postupu a současně provádí případnou korekci parametrů svařování. Dozor nad svařováním provádí inspektor, který před začátkem svařování označí zkušební kusy a zkušební tyče svoji značkou. Kromě toho musí být zkušební kus označen číslem pWPS, znakem polohy svařování a pořadovým číslem zkušební vzorku [26,27].

7) Převzetí vzorků

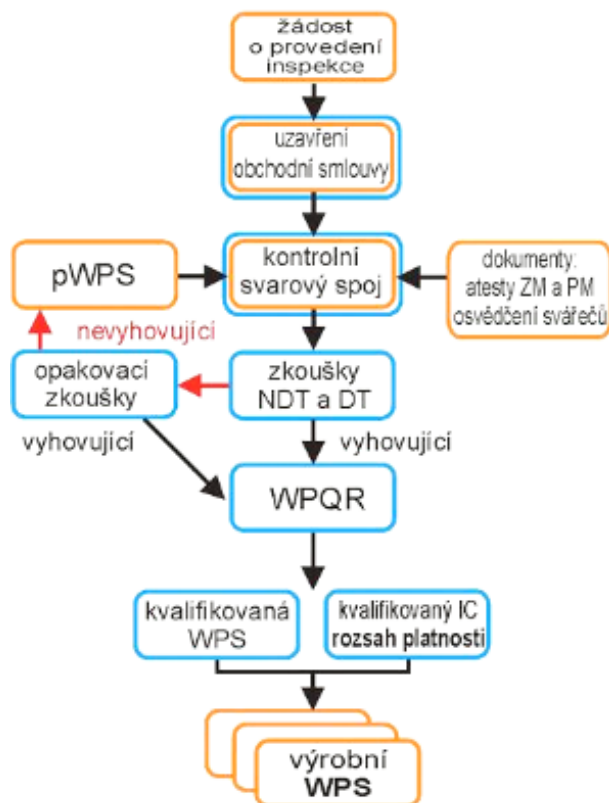
Inspektor převezme svařené vzorky a zajistí jejich posouzení nedestruktivními zkouškami (vizuální, penetrační, magnetické, prozáření, ultrazvukem) a pokud vzorek vyhoví všem nedestruktivním zkouškám, provedou se destruktivní zkoušky v rozsahu dle požadavků normy ČSN EN ISO 15614-1 (makroskopické, tahové, ohybové, vrubové houževnatosti, tvrdosti atd.) Aby byly zkoušky platné, musí je vykonat akreditovaná laboratoř [26,27].

8) Posuzování výsledků nedestruktivních a destruktivních zkoušek

Po ukončení požadovaných zkoušek předloží inspektor záznam o zkoušce svaru a ostatní dokumentaci k posouzení svářečskému inženýrovi. Ten zkontroluje jejich formální úplnost a správnost hodnocení výsledků s ohledem na stanovená kritéria přípustnosti normy ČSN EN ISO 15614-1 [26].

9) Vydání Inspekční zprávy

Na základě kladných výsledků nedestruktivních a destruktivních zkoušek vydá zkušební orgán inspekční certifikát „WPQR“ a předá jej výrobci [27].



Obrázek 3.2 - Schéma postupu kvalifikace svarových spojů [23].

4 Návrh technologického postupu svařování trubky z oceli P92

4.1 Experimentální materiál

Prvním bodem z celého experimentu bylo obstarat potřebný polotovár z už mnohokrát zmiňované oceli P92. Celou specifikaci a technické dodací podmínky pro ocel P92 (X10CrWMoVNb9-2) popisuje norma ČSN EN 10216-2+A [10]. Základní materiál pro svařování byl zajištěn firmou Flash Steel Power, a.s. Z tavby s číslem označení 54380 byl odlit ingot a následně vykován válcový výkovek o \varnothing 520 mm, který byl dále tepelně zpracován, a to zušlechťováním, kalením při teplotě 1030 °C s výdrží 13 h a ochlazováním v oleji. Po kalení následovalo popouštění při teplotě 770 °C s výdrží 18 h a ochlazováním na vzduchu. Následujícím krokem bylo obrobení válcového výkovku, čímž vznikla zkušební trubka o \varnothing 273 mm, tloušťce stěny 28 mm a délce 400 mm. Mechanické vlastnosti (v podélném a příčném směru) a chemické složení experimentálního materiálu z tavby 54380 jsou zaznamenány v tabulkách 4.1, 4.2 a 4.3.

Tabulka 4.1 - Mechanické vlastnosti experimentálního materiálu oceli P92 získané v podélném směru.

Mechanické vlastnosti experimentálního materiálu oceli P92 získané v podélném směru								
Teplota [°C]	Hodnoty	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	KV [J]	KC [J/cm ²]	A ₅ [%]	Z [%]	HB
+ 20	Předepsané	> 440	620-850	> 68	-	19	-	185-260
	Zjištěné	484	676	133,0	166,0	23,4	61,6	214
+ 350	Předepsané	> 382	-	-	-	-	-	-
	Zjištěné	418	551	-	-	21,2	67,5	-

Tabulka 4.2 - Mechanické vlastnosti experimentálního materiálu oceli P92 získané v příčném směru.

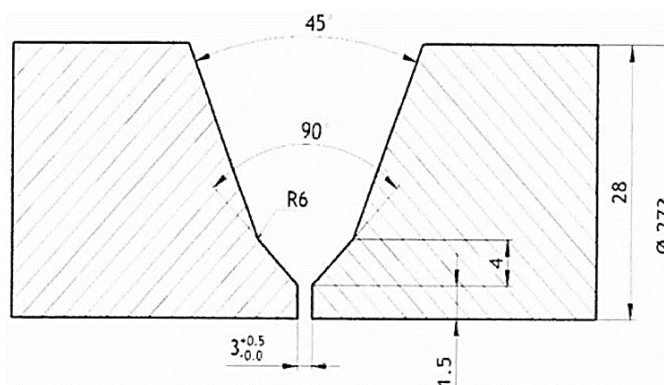
Mechanické vlastnosti experimentálního materiálu oceli P92 získané v příčném směru								
Teplota [°C]	Hodnoty	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	KV [J]	KC [J/cm ²]	A ₅ [%]	Z [%]	HB
+ 20	Předepsané	> 440	620-850	> 41	-	17	-	185-260
	Zjištěné	477	667	109,0	136,3	24,4	62,8	226
+ 350	Předepsané	> 382	-	-	-	-	-	-
	Zjištěné	410	531	-	-	18,8	62,8	-

Tabulka 4.3 - Chemické složení experimentálního materiálu oceli P92 v hm. %

Chemické složení experimentálního materiálu oceli P92 v hm. %							
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
0,109	0,44	0,30	0,016	0,0026	0,288	8,860	0,404
V	Ti	W	Al-c	Nb	B	N	
0,191	< 0,004	1,690	0,011	0,049	0,0033	0,0481	

4.2 Návrh metod svařování a příprava svarových ploch

Svarové plochy na zkušebním vzorku byly připraveny soustružením. Pro tupý spoj na trubce byla zvolena předúprava „W svar“. Schéma úkosu je znázorněno na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 - Příprava svarových ploch na experimentálním vzorku.

Pro zhotovení zkušebního svarového spoje byly vybrány svařovací metody, které se reálně aplikují v praxi při výstavbách a rekonstrukcích v energetice. Zvolily se následující metody:

- 141 (obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu - TIG)
- 111 (ruční obloukové svařování obalenou elektrodou).

Metodou 141 byl zavařen kořen svaru a krycí vrstva kořenové části (druhá housenka), to vše v ochranné atmosféře argonu. Zbývajících část svarového kovu byla vyplněna metodou 111.

4.3 Přídavné materiály

Přídavné materiály pro použité metody svařování 141 a 111 byly vybrány od firmy Böhler, která nabízí přídavné materiály přímo pro požadovanou ocel P92. Přesné označení, zvolené průměry, chemické složení a mechanické vlastnosti použitých přídavných materiálů jsou následující:

Metoda svařování 141:

- Svařovací drát o Ø 2,0 mm
- Označení: Thermanit MTS 616
- Norma: EN ISO 21952 - A-W CrMoWVNb 9 0,5 1,5

Tabulka 4.4 - Chemické složení drátů Thermanit MTS 616 o Ø 2,0 mm v hm. %.

Chemické složení drátů Thermanit MTS 616 v hm. %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,10	0,42	0,56	0,006	0,001	8,70	0,43	0,50
		V	W	Cu	Nb		
		0,18	1,70	< 0,10	0,06		

Tabulka 4.5 - Mechanické vlastnosti drátů Thermanit MTS 616.

Mechanické vlastnosti drátů THERMANIT MTS 616				
Teplota [°C]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	KV [J]
+ 20	≥ 560	≥ 720	16	≥ 41

Metoda svařování 111:

- Svařovací elektrody o Ø 2,5 a 3,2 mm
- Označení: Thermanit MTS 616
- Norma: EN ISO 3850 - A Z CrMoWVNb 9 0,5 2 B 42 H5

Tabulka 4.6 - Chemické složení elektrody Thermanit MTS 616 o Ø 3,2 mm v hm. %.

Chemické složení elektrody Thermanit MTS 616 v hm. %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,11	0,25	0,67	0,008	0,005	8,70	0,51	0,70
		V	W	Cu	Nb		
		0,20	1,68	< 0,10	0,04		

Tabulka 4.7 - Mechanické vlastnosti elektrody Thermanit MTS 616.

Mechanické vlastnosti elektrody Thermanit MTS 616				
Teplota [°C]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	KV [J]
+ 20	≥ 560	≥ 720	15	≥ 41

4.4 Parametry svařování

Pro experimentální svarový spoj byly navrženy svařovací parametry, které jsou vypsány v tabulce 4.8.

Tabulka 4.8 - Navržené parametry svařování pro experimentální svarový spoj.

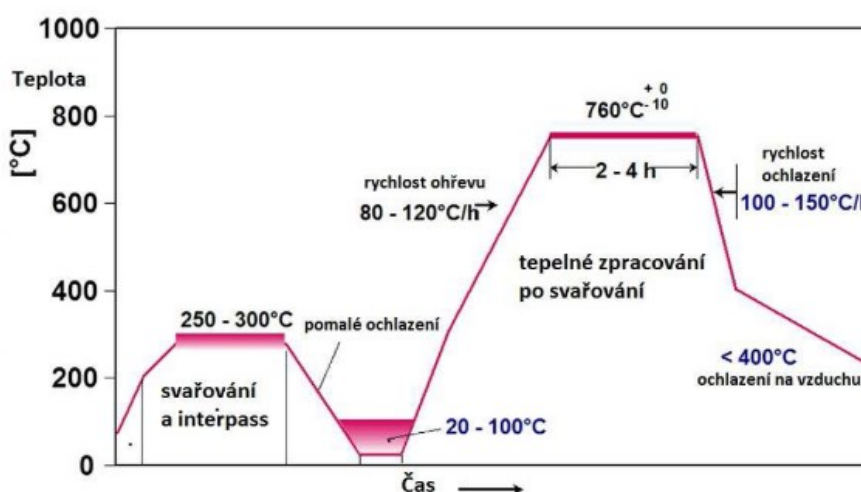
Metoda svařování	141 (kořen) + 111 (výplň)
Typ svarového spoje	Tupý svar na trubce
Poloha svařování	PC, PH (polovina obvodu trubky PC, druhá polovina PH)
Ochranný plyn	141: Argon 4.6 - Air Liquide 111: -
Přídavný materiál	141: Thermanit MTS 616 Ø 2,0 mm - Böhler 111: Thermanit MTS 616 Ø 2,5 mm - Böhler Thermanit MTS 616 Ø 3,2 mm - Böhler
Svařovací proud	141: 90 - 110 A 111: 80 - 100 A (Ø 2,5 mm) 100 - 120 A (Ø 3,2 mm)
Svařovací napětí	141: 8,0 - 12,0 V 111: 20,0 - 25,0 V (Ø 2,5 mm) 20,0 - 25,0 V (Ø 3,2 mm)
Tepelný příkon	141: 0,60 - 1,90 kJ/mm 111: 0,20 - 1,80 kJ/mm
Předehřev	Min. 200 °C
Teplota interpass	200 - 300 °C

Z navržených parametrů byl vypracován protokol o předběžné specifikaci postupu svařování (pWPS), který obsahuje všechny potřebné svařovací parametry a informace pro zhotovení požadovaného svarového spoje. Tento protokol je uveden v příloze A.

4.5 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování bylo navrženo, jak ze znalostí z předchozích experimentálních prací, tak z doporučení dodavatele přídavných materiálů pro stavbu energetických zařízení. Schéma doporučeného režimu tepelného zpracování je zobrazeno na obrázku 4.2.

Teplota předehřevu byla zvolena na minimální hranici 200 °C. Teplota interpass se nesměla dostat pod 200 °C a překročit teplotu 300 °C. Po ukončení svařování následoval dohřev. Ten přispívá ke snížení vnitřního pnutí, které vzniká v průběhu svařování. Také má pozitivní vliv na difuzi vodíku ze svarového spoje. Parametry dohřevu byly určeny na teplotu 250 - 350 °C po dobu 4 hodin. Po ukončení této doby byl svařenec vytáhnout z pece a zabalen do izolačního zábalu (Siblar), kde se nechal pozvolna ochladit. Tepelné zpracování po svařování bylo určeno na maximální teplotu 760 °C po dobu 4 hodin. Rychlost ohřevu byla 100 °C za hodinu a rychlost ochlazování také 100 °C za hodinu s tím, že jakmile teplota při ochlazování dosáhla 400 °C, svařenec byl vytáhnout z pece, zabalen do zábalu a nechal se volně vychladit na teplotu okolí. Návrh tepelného zpracování experimentálního svařence je zobrazen v tabulce 4.9.



Obrázek 4.2 - Schéma doporučeného režimu tepelného zpracování [4].

Tabulka 4.9 - Návrh tepelného zpracování experimentálního svařence.

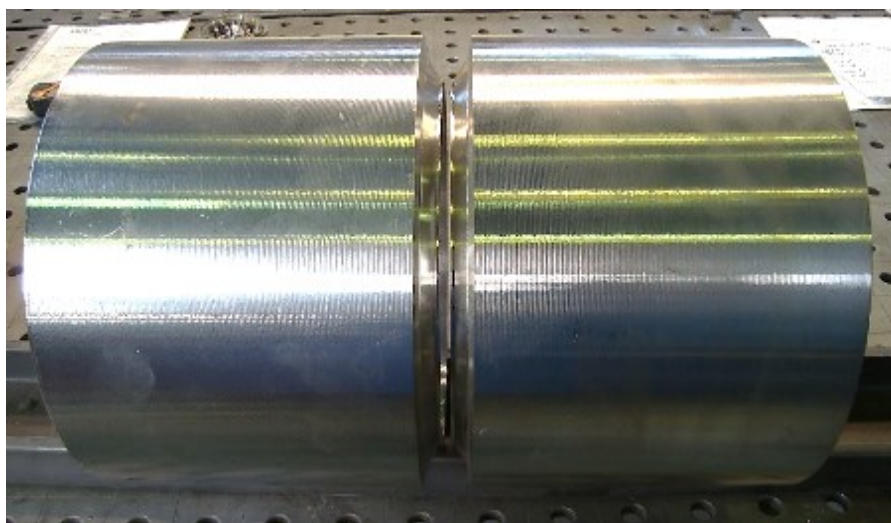
Návrh tepelného zpracování experimentálního svařence			
Před / při svařování		Po svařování	
Teplota předehřevu	Min. 200 °C	Rychlost ohřevu	100 °C / 1 h.
Teplota interpass	200 - 300 °C	Teplota / čas výdrže	760 °C / 4 h.
Teplota / čas dohřevu	250 - 350 °C / 4 h.	Rychlost ochlazování	100 °C / 1 h.

5 Proces zhotovení zkušebního svarového spoje

Celý proces zhotovení zkušebního svarového spoje na trubce z oceli P92 i s následným tepelným zpracováním se uskutečnil v Českém svářečském ústavu. Výsledkem bylo vyrobení experimentálního svařence, který byl dále testován nedestruktivními a destruktivními zkouškami svařování. Během svařování byly zaznamenány veškeré skutečné svařovací parametry. Výstupem z naměřených údajů byl záznam o svařování experimentálního vzorku, který je uveden v příloze B. Vše proběhlo tak, aby byly splněny veškeré podmínky pro kvalifikaci svarového spoje dle normy ČSN EN ISO 15614-1.

5.1 Postup zhotovení zkušebního svarového spoje:

Před začátkem svařování byly očištěny svařovací plochy a vyznačeny polohy svařování na dílec. Následoval předehřev (min. 200 °C), po kterém byla součást ustavena a sestehována. K celému procesu svařování byl použit svařovací zdroj Fronius Transtig 2200 S/N:25401605. Na obrázku 5.1 je zobrazeno ustavení součásti před stehováním.



Obrázek 5.1 - Ustavení součásti před stehováním.

Jakmile byl dílec sestehován, přešlo se k samotnému svařování. Kořen byl zhotoven metodou 141 za použití wolframové elektrody WT 20 o Ø 2,4 mm, přičemž byla aplikována ochrana kořene. Použit byl ochranný plyn Argon 4.6, u kterého byl naměřen průtok $9 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Svařování kořenové části svaru je vyobrazeno na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2 - Průběh svařování kořenové části svaru.

Během celého procesu svařování byla pomocí dotykového teploměru kontrolována teplota interpass (200 - 300 °C). Došlo-li k vychýlení této předepsané teploty, svařování bylo přerušeno a teplota byla korigována na požadovanou hodnotu. Pro potřebný ohřev svařence byly použity odporové dečky a izolační vata. Naopak, když bylo zapotřebí teplotu snížit, stačilo přerušit svařování a teplotou okolí byl svařenec ochlazen. Obrázek 5.3 zobrazuje detail zhotoveného kořene svaru a na obrázku 5.4 je vidět ohřev svařence na požadovanou teplotu interpass.



Obrázek 5.3 - Detail kořene svaru.



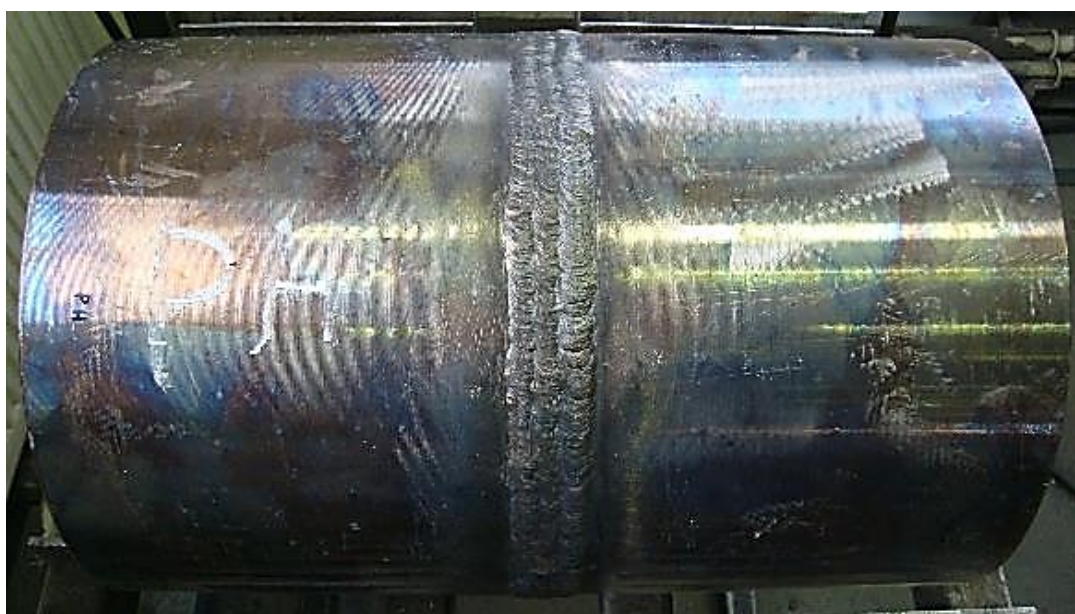
Obrázek 5.4 - Ohřev na teplotu interpass.

Zbylá výplň svarového kovu byla svařena metodou 111, kdy po každé řadě navařených housenek byl svar vybroušen a odstraněna struska, poté se dále pokračovalo ve svařování standardním způsobem až do vyplnění celého svaru. Na obrázku 5.5 je zobrazen vybroušený svar v průběhu svařování metodou 111.



Obrázek 5.5 - Vybroušený svar v průběhu svařování metodou 111.

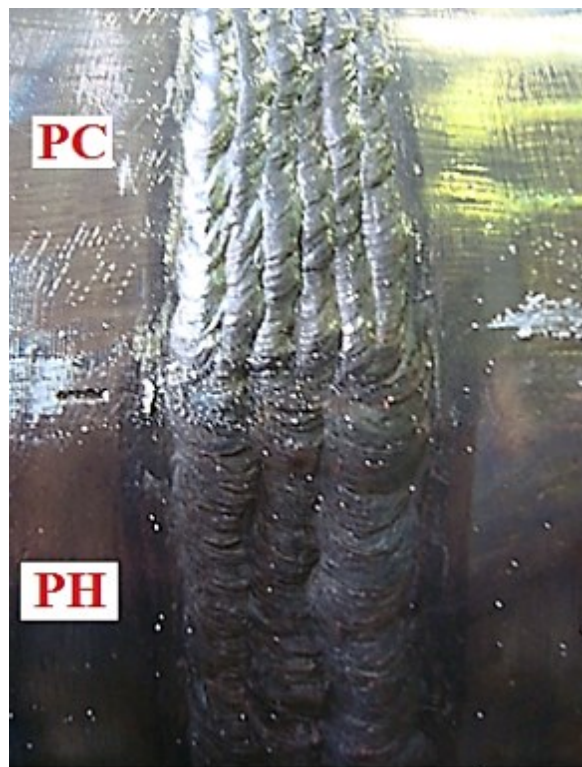
Aby byla uznána kvalifikace pro všechny polohy svařování (s výjimkou poloh PJ a J-L045) dle normy ČSN EN ISO 15614-1, byla trubka svařena dvěma polohami. Půlka obvodu trubky byla svařena polohou PC (poloha vodorovná) a druhá půlka polohou PH (poloha svislá zdola nahoru, dříve PF). Důvodem je tepelný příkon, který je u polohy PH nejvyšší, naopak u polohy PC nejnižší. To se dále projeví u zkoušky rázem v ohybu a zkoušky tvrdosti, o kterých se zmiňují kapitoly 7.3 a 7.4. Obrázky 5.6 a 5.7 zobrazují zhotovené svarové spoje a na obrázku 5.8 je vidět detail přechodu mezi polohami svařování.



Obrázek 5.6 - Zhotovený svarový spoj, poloha PH.



Obrázek 5.7 - Svarový spoj, poloha PC.



Obrázek 5.8 - Přejechod mezi polohami.

Jakmile byl ukončen celý proces svařování, aplikoval se dohřev ($250 - 350\text{ }^{\circ}\text{C} / 4\text{ h.}$). Po ukončení předepsané doby dohřevu byl svařenec vytáhnut z pece, zabalen do izolačního zábalu (Sibral) a pozvolna se nechal vychladit. Posledním úkonem na svařenci bylo provedení zvoleného tepelného zpracování ($760\text{ }^{\circ}\text{C} / 4\text{ h.}$). Na obrázku 5.9 je vidět experimentální svařenec v peci PK 225/12.



Obrázek 5.9 - Experimentální svařenec v peci PK 225/12.

6 Výsledky nedestruktivních zkoušek (NDT)

Po dokončení celého svařovacího procesu a následném tepelném zpracování se mohlo přejít na provedení nedestruktivních zkoušek kompletního svařence. Samozřejmostí je, že všechny zkoušky byly vykonány akreditovanou organizací. Dle normy ČSN EN ISO 15614-1 pro stanovení a kvalifikaci postupu svařování byly zvoleny následující nedestruktivní zkoušky:

- Vizualní kontrola (VT) - dle ČSN EN ISO 17637
- Zkouška kapilární (PT) - dle ČSN EN ISO 3452-1
- Zkouška prozářením (RT) - ČSN EN ISO 17636-1, třída B

6.1 Vizualní kontrola (VT)

Vizualní kontrola je jednou z nejjednodušších nedestruktivních metod. Používá se na zjišťování povrchových necelistvostí (trhlin, koroze, pórů, odkrytých staženin, atd.).

Vizualní kontrola se uskutečnila v Českém svářečském ústavu dle normy ČSN EN ISO 17637. Kontrola byla provedena na celém svařenci (tj. poloha PC a PH). Hodnocení zkoušky proběhlo dle kritérií normy ČSN EN ISO 5817 stupně jakosti B.

Tabulka 6.1 - Vyhodnocení vizualní kontroly.

Vizualní kontrola			
Označení svaru	Kořen svaru	Krycí vrstva	Výsledek
1R - 2846/1: PC	Bez vad	Bez vad	Vyhovující
1R - 2846/2: PH	Bez vad	Bez vad	Vyhovující

6.2 Kapilární zkouška (PT)

Touto zkouškou lze identifikovat pouze vady v povrchových vrstvách materiálu (např. póry, zápaly, studené spoje, trhliny). Metoda spočívá ve využití vztlínivosti a smáčivosti vhodných kapalin (penetrantů), jimiž se pokrývá kontrolovaný svar. Kapalina vniká do vad a po odstranění přebytku penetrantu vztlíná zbytek na povrch, kde vytváří za pomoci vývojků barevnou nebo fluorescenční indikaci vady.

Kapilární zkouška byla realizována v akreditované zkušební laboratoři Controltest dle normy ČSN EN ISO 3452-1 a to v celém rozsahu svarového spoje (tj. poloha PC a PH). K provedení zkoušky byl použit zkušební penetrační prostředek Helling Nord test. Vyhodnocení probíhalo ihned po zaschnutí a po 15 minutách. Zkouška byla vyhodnocena dle kritérií normy ČSN EN ISO 23277 stupně přípustnosti 1.

Tabulka 6.2 - Vyhodnocení kapilární zkoušky.

Kapilární zkouška		
Označení svaru	Druh vady	Výsledek
1R - 2846/1: PC	Bez vad	Vyhovující
1R - 2846/2: PH	Bez vad	Vyhovující

6.3 Zkouška prozářením (RT)

Zkouška prozářením je určena především pro zjišťování vnitřních objemových vad (póry, dutiny, vměstky, studené spoje, neprovařené kořeny svarů apod.) Princip metody je v průchodu rentgenového záření materiálem, při kterém ztrácí svoji intenzitu. Objevení nehomogenity v průběhu zkoušky se projeví při vyobrazení dopadajícího záření na film, kde se vytvoří obraz vad, který se zobrazí jako tmavé místo.

Zkouška prozářením byla provedena stejně jako kapilární zkouška v akreditované zkušební laboratoři Controltest. Kompletní kontrola svarového spoje byla vykonána v souladu s normou ČSN EN ISO 17636-1, třída. Hodnocení zkoušky proběhlo dle normy ČSN EN ISO 10675-1, stupeň přípustnosti 1.

Tabulka 6.3 - Vyhodnocení zkoušky prozářením.

Zkouška prozářením		
Označení svaru	Druh vady	Výsledek
1R - 2846/1: PC	Bez vad	Vyhovující
1R - 2846/2: PH	Bez vad	Vyhovující

7 Výsledky destruktivních zkoušek

Vyhodnocením nedestruktivních zkoušek bylo zjištěno, že experimentální svařenec byl svařen bez jakýchkoliv vad, a proto se mohlo přejít k dalšímu bodu experimentu a to vykonání destruktivních zkoušek. Dle kritérií normy ČSN EN ISO 15614-1 byly vybrány následující zkoušky:

- Mechanické zkoušky - Příčná zkouška tahem - dle ČSN EN ISO 6892-1
 - Zkouška ohybem (lámavosti) - dle ČSN EN ISO 5173
 - Zkouška rázem v ohybu - dle ČSN EN ISO 148-1
 - Zkouška tvrdosti - dle ČSN EN ISO 9015-1
- Metalografická zkouška - Zkouška makrostruktury - dle ČSN EN ISO 17639

Všechny destruktivní zkoušky byly provedeny akreditovanou zkušební laboratoří Vítkovice Testing center. Na obrázku 7.1 je zobrazeno umístění zkušebních vzorků pro tupý spoj na trubce dle normy ČSN EN ISO 15614-1.



Obrázek 7.1 - Umístění zkušebních vzorků na trubce [22].

7.1 Příčná zkouška tahem

Příčná zkouška tahem byla provedena na trhačím stroji postupným zatěžováním zkušební tyče, až do přetržení. Tvary a rozměry zkušební tyče jsou normalizovány a celá zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 6892-1 při teplotě 20 °C. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tabulce 7.1.

Tabulka 7.1 - Výsledky příčné zkoušky tahem.

Příčná zkouška tahem				
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 6892-1		
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1		
Číslo vzorku	Teplota [°C]	R _m [MPa]	Místo porušení	Výsledek
Požadavek	+ 20	min. 620	-	-
2846 /1/T1	+ 20	626	Mimo svar	Vyhovující
2846 /1/T2	+ 20	622	Mimo svar	Vyhovující

Dle normy ČSN EN 10216-2 je minimální požadovaná mez pevnosti v tahu $R_m = 620$ MPa. Z tabulky 7.1 je zřejmé, že naměřené hodnoty sice vyhověly, ale pohybují se těsně nad dolní hranicí dovoleného rozsahu.

7.2 Zkouška ohybem (lámavosti)

Podstatou této zkoušky je ohybová deformace. Dle požadavků normy ČSN EN ISO 15614-1 byly zkoušeny dvě zkušební tělesa ze strany kořene a dvě zkušební tělesa ze strany líce svaru při teplotě 20 °C. Celá zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 5173. Vyhodnocení zkoušky je uvedeno v tabulce 7.2.

Tabulka 7.2 - Výsledky zkoušky ohybem (lámavosti).

Zkouška ohybem (lámavosti)							
Prováděcí předpis:			ČSN EN ISO 5173				
Požadavek dle předpisu:			ČSN EN ISO 15614-1				
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Ø trnu [mm]	Vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm]	Úhel ohybu [°]	Tažná strana	Poznámky	Výsledek
Požadavek	+ 20	57	87	180	-	-	-
2846 /1/O1	+ 20	57	87	180	Boční	Bez trhlin	Vyhovující
2846 /1/O2	+ 20	57	87	180	Boční	Bez trhlin	Vyhovující
2846 /1/O3	+ 20	57	87	180	Boční	Bez trhlin	Vyhovující
2846 /1/O4	+ 20	57	87	180	Boční	Bez trhlin	Vyhovující

Z tabulky 7.2 je vidět, že všechny zkušební kusy zkoušce ohybem vyhověly.

7.3 Zkouška rázem v ohybu

Jak už bylo zmíněno v kapitole 5.1 pro uznání kvalifikace všech poloh svařování dle normy ČSN EN ISO 15614-1 byla experimentální trubka svařena polohami PC a PH. Tato norma požaduje, aby zkouška rázem v ohybu byla provedena na zkušebních vzorcích svařovaných metodou PH, a to z důvodu nejvyššího tepelného příkonu. Dále norma určuje, jak mají vypadat zkušební vzorky:

- Zkušební tyč pro SK:

VWT 0/2: V - Charpy V-vrub, W - vrub v SK, T - vrub napříč tloušťkou, 0 - vrub v ose svaru, 2 - 2 mm pod povrchem v TOO.

- Zkušební tyč pro TOO:

VHT 2/2: V - Charpy V-vrub, H - vrub v TOO, T - vrub napříč tloušťkou, 2 - 2 mm od hranice natavení, 2 - vrub 2 mm pod povrchem svaru.

Samotná zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 148-1 při teplotě 20 °C a rozměrech zkušebních tyčí 10 x 10 mm. Výsledky zkoušky jsou předloženy v tabulce 7.3.

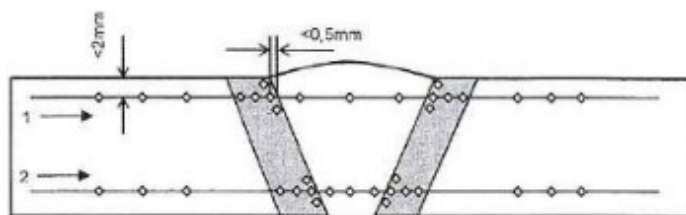
Tabulka 7.3 - Výsledky zkoušky rázem v ohybu.

Zkouška rázem v ohybu								
Prováděcí předpis:			ČSN EN ISO 148-1					
Požadavek dle předpisu:			ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN 13480					
Číslo vzorku	Teplota [°C]	Umístění vrubu	Jednotlivé hodnoty [J]			Průměr [J]	Poznámky	Výsledek
Požadavek	+ 20	-	-	-	-	min. 27	-	-
2846 /2/V1-V3	+ 20	VWT 0/2	65	56	54	58	KV ₂	Vyhovující
2846 /2/V4-V6	+ 20	VHT 2/2	110	107	121	113	KV ₂	Vyhovující

Norma ČSN EN 10216-2 předepisuje minimální hodnota nárazové práce KV = 27 J. Z tabulky 7.3 vyplývá, že naměřené hodnoty vyhověly a jsou poměrně vysoké.

7.4 Zkouška tvrdosti

Dle kritérií normy ČSN EN ISO 15614-1 byl zkušební vzorek odebrán ze svaru svařovaném polohou PC, která má nejnižší tepelný příkon. Měření tvrdosti bylo provedeno v ZM, TOO a SK, aby mohl být vyhodnocen průběh tvrdosti napříč celým svarovým spojem. Vtisky byly realizovány ve dvou řadách, maximálně 2 mm pod horním a spodním povrchem svaru. Přesná místa vtisků jsou schematicky znázorněna na obrázku 7.2.

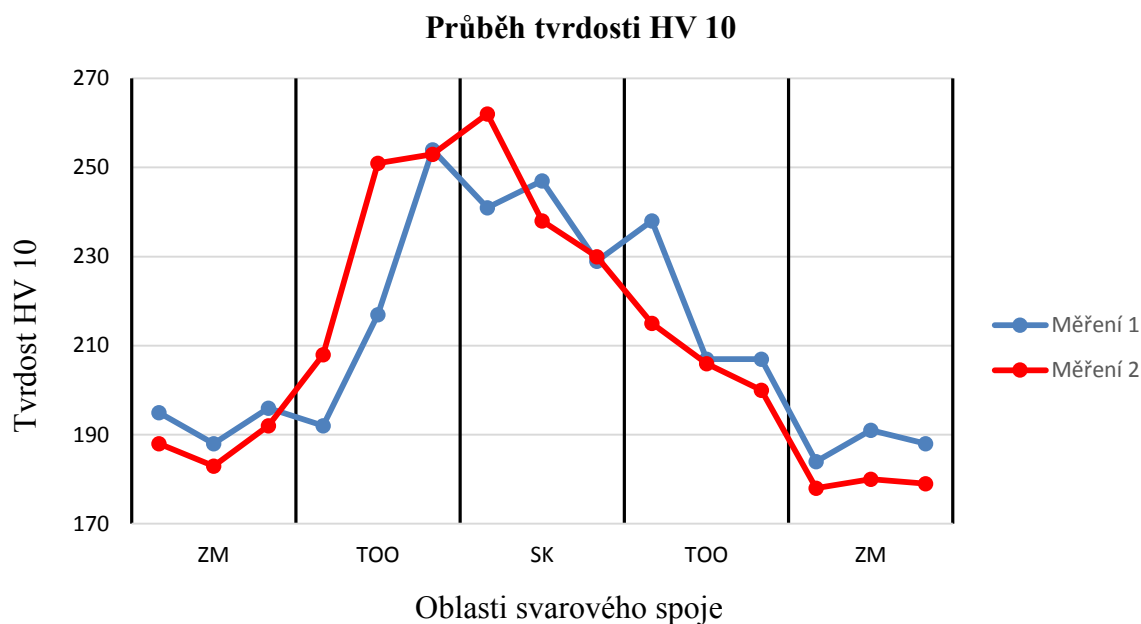


Obrázek 7.2 - Schéma umístění vtisků tupého svarového spoje.

Tvrdost svarového spoje byla měřena dle Vickerse (HV 10) v souladu s normou ČSN EN ISO 9015-1 při teplotě 20 °C. Naměřené hodnoty tvrdosti jsou shrnuty v tabulce 7.4. Z těchto hodnot byl vytvořen graf 7.1, ve kterém je zobrazen průběh tvrdosti ve všech pásmech svarového spoje.

Tabulka 7.4 - Naměřené hodnoty zkoušky tvrdosti HV 10.

Zkouška tvrdosti															
Vzorek	ZM			TOO			SK			TOO			ZM		
PC měření 1						241				237					
	195	188	196	192	217	254	241	247	229	238	207	207	184	191	188
						246				217					
PC měření 2						254				221					
	188	183	192	208	251	253	262	238	230	215	206	200	178	180	179
						244				216					



Graf 7.1 - Průběh tvrdosti HV 10.

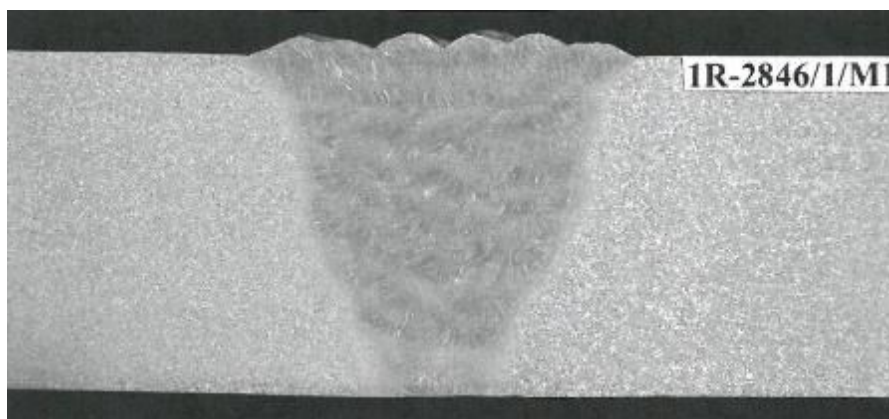
V tabulce 7.5 jsou výsledné maximální naměřené hodnoty tvrdosti ve všech pásmech svarového spoje. Vyhodnocení bylo provedeno dle požadavků normy ČSN EN ISO 15614-1, která určuje pro martenzitické oceli s tepelným zpracováním maximální přípustnou tvrdost 350 HV. Z tabulky 7.5 je zřejmé, že svarový spoj zkoušce tvrdosti vyhověl, nicméně naměřené hodnoty jsou poměrně nízké.

Tabulka 7.5 - Vyhodnocení zkoušky tvrdosti.

Zkouška tvrdosti						
Prováděcí předpis:			ČSN EN ISO 9015-1			
Požadavek dle předpisu:			ČSN EN ISO 15614-1			
Číslo vzorku	max. ZM	max. TOO	max. SK	max. TOO	max. ZM	Výsledek
Požadavek	max. 350 HV 10					-
2846 /1/h1	196	254	247	238	191	Vyhovující
2846 /1/H2	192	254	262	221	180	Vyhovující

7.5 Zkouška makrostruktury

Ke zkoušce makrostruktury byl vybrán svarový spoj zhotovený polohou PC. Vzorek z tohoto spoje byl vybroušen a naleptán 15% HNO₃. Celý průběh zkoušky byl v souladu s normou ČSN EN ISO 17639. U vzorku byly hodnoceny vady ve struktuře a byla měřena šířka TOO. Na obrázku 7.3 je zobrazena výsledná makrostruktura vzorku 1R-2846/1/M1 při dvojnásobném zvětšení. Tabulka 7.6 shrnuje vyhodnocení zkoušky makrostruktury.



Obrázek 7.3 - Makrostruktura vzorku 1R-2846/1/M1, šířka TOO 2 mm, (zv. 2x).

Tabulka 7.6 - Vyhodnocení zkoušky makrostruktury.

Zkouška makrostruktury	
Prováděcí předpis:	ČSN EN ISO 17639
Požadavek dle předpisu:	ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN ISO 5817
Požadavek:	Vady na zkušebnímu kusu se musí pohybovat v rozsahu stupně jakosti B dle ČSN EN ISO 5817, kromě vad č. 502, 503, 504, 5214, které mohou být v rozsahu stupně jakosti C.
Vyhodnocení:	Na zkušebním vzorku nebyly identifikovány vady.
Šířka TOO:	max. 2,0 mm
Výsledek:	Vyhovující

Na zkušebním vzorku nebyly identifikovány žádné vady, maximální šířka TOO byla naměřena 2 mm. Zkouška makrostruktury je dle ČSN EN ISO 5817, st. B vyhovující.

8 Vyhodnocení experimentu

Cílem experimentu bylo realizovat proces kvalifikace homogenního svarového spoje na trubce z oceli P92. Experiment zahrnoval zhotovení zkušebního svarového spoje na trubce metodami 141 a 111 podle navržené předběžné specifikace postupu svařování (pWPS). Jakmile byl zkušební svařenec vyroben, následovalo testování nedestruktivními a destruktivními zkouškami svařování. Všechny zkoušky vyhověly předepsaným hodnotám požadované kvalifikace, proto byl schválen protokol o kvalifikaci postupu svařování (WPQR). Výstupem provedeného experimentu je návrh protokolu o kvalifikaci postupu svařování (WPQR), který je uveden v příloze C.

Navržený zkušební svarový spoj na trubce z oceli P92 prošel kompletním procesem kvalifikace postupu svařování dle normy ČSN EN ISO 15614-1. Výsledky nedestruktivních i destruktivních zkoušek byly vyhovující v celém rozsahu.

Všechny nedestruktivní zkoušky, které byly provedeny na experimentálním vzorku, vyhověly předepsaným požadavkům. Celkové shrnutí NDT je zaznamenáno v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1 - Celkové vyhodnocení všech nedestruktivních zkoušek.

Výsledky nedestruktivních zkoušek				
Zkouška	Provádějíci předpis	Požadavek dle předpisu	Provedl	Výsledek
Vizuální kontrola VT	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817 Stupeň jakosti B	ČSÚ s.r.o. Ostrava	Vyhovující
Zkouška kapilární PT	ČSN EN ISO 3452-1	ČSN EN ISO 23277 Stupeň přípustnosti 1	Controltest s.r.o.	Vyhovující
Zkouška prozářením RT	ČSN EN ISO 17636-1 B	ČSN EN ISO 10675-1 Stupeň přípustnosti 1	Controltest s.r.o.	Vyhovující

Všechny destruktivní zkoušky, které byly realizovány na zkušebním svařenci, taktéž vyhověly předepsaným požadavkům. Souhrn destruktivních zkoušek je zaznamenán v tabulce 8.2.

Tabulka 8.2 - Celkové vyhodnocení všech destruktivních zkoušek.

Výsledky destruktivních zkoušek								
Zkouška	Provádějící předpis	Požadavek dle předpisu	Požadavek					Výsledek
			Naměřená hodnota					
Příčná zkouška tahem	ČSN EN ISO 6892-1	ČSN EN ISO 15614-1	R _m = min. 620 MPa					Vyhovující
			R _m = 626 a 622 MPa					
Zkouška ohybem (lámavosti)	ČSN EN ISO 5173	ČSN EN ISO 15614-1	-					Vyhovující
Zkouška rázem v ohybu	ČSN EN ISO 148-1	ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN 13480	KV = min. 27 J					Vyhovující
			58 a 113 J					
Zkouška tvrdosti	ČSN EN ISO 9015-1	ČSN EN ISO 15614-1	Z M	T O O	S K	T O O	Z M	Vyhovující
			max. 350 HV 10					
			196	254	247	238	191	
			192	254	262	221	180	
Zkouška makrostruktury	ČSN EN ISO 17639	ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN ISO 5817	-					Vyhovující

Všechny destruktivní zkoušky jsou sice vyhovující, ale výsledky některých naměřených mechanických hodnot nejsou příliš optimální. Hodnoty z příčné zkoušky tahem vyšly těsně nad dolní hranici dovoleného rozsahu. Rovněž naměřená tvrdost svarového spoje je poměrně nízká. Z těchto výsledků lze usuzovat, že tepelné zpracování bylo zvoleno na maximální možné hranici (760 °C / 4 h) a experimentální svařenec byl příliš vyžehán. Pro další experimentální práce se doporučuje snížit teplotu a případně i dobu tepelného zpracování na 750 °C / 3 - 4 h.

9 Závěr

Předkládaná diplomová práce se v úvodní teoretické části věnuje studii současného stavu modifikovaných 9-12%Cr ocelí, které jsou aplikovány v energetickém průmyslu. Tyto ocele jsou navrhovány pro konstrukce energetických zařízení a strojní součástí, u nichž je počítáno se zvýšenou nebo vysokou provozní teplotou, při níž je materiál zatěžován v oblasti creepového namáhání. Žáropevné martenzitické ocele jsou používány pro potrubí ostré páry, přehřívákové potrubí, pro komory a pro další komponenty energetických zařízení. Druhá kapitola teoretické části popisuje, jak funguje systém jakosti ve svařování a rozebírá proces kvalifikace svarových spojů dle norem řady ČSN EN ISO 156XX.

V praktické části práce je popsán samotný postup experimentu, který zahrnuje návrh technologického postupu svařování zkušební trubky z ocele P92 metodami 141 a 111. Výsledkem je navržení předběžné specifikace postupu svařování (pWPS). Následující kapitola se zabývá zhotovením zkušebního svarového spoje, v níž je přímo popsán a zfotodokumentován postup zhotovení kompletního svařence i s následným tepelným zpracováním. Jakmile byl svařenec vyroben, přešlo se k provedení nedestruktivních a destruktivních zkoušek. Byly zvoleny následující nedestruktivní zkoušky: vizuální kontrola, zkouška kapilární a zkouška prozářením. Kontrolou nedestruktivních zkoušek se zjistilo, že experimentální svařenec byl svařen bez jakýchkoli vad, a proto se mohlo přejít k vykonání destruktivních zkoušek. Z mechanických zkoušek byly provedeny: příčná zkouška tahem, zkouška ohybem (lámavosti), zkouška rázem v ohybu a zkouška tvrdosti. Z metalografických zkoušek byla realizována zkouška makrostruktury. Veškeré destruktivní zkoušky sice vyhověly předepsaným požadavkům, ale výsledky některých naměřených mechanických hodnot nejsou příliš uspokojivé. Ze získaných výsledků lze usuzovat, že tepelné zpracování bylo zvoleno na maximální možné hranici (760 °C / 4 h). Pro další experimentální práce se doporučuje snížit teplotu a případně i dobu tepelného zpracování na 750 °C / 3 - 4 h. Výstupem provedeného experimentu je návrh protokolu o kvalifikaci postupu svařování (WPQR).

Tato práce je příspěvkem k vývoji technologie svařování oceli P92. Provedený experiment ukázal, že při správném uplatnění teoretických poznatků aplikovaných přímo do výrobního procesu svařování je možné zabezpečit kvalitní výrobu svarových spojů i z této oceli používané v energetickém průmyslu. Proto je při svařování v praxi nezbytné dodržovat všechny předepsané parametry týkající se celého výrobního procesu svařování.

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Petru Mohylovi, Ph.D. za pomoc při vypracování a vedení práce. Dále bych rád poděkoval pracovníkům Českého svářečského ústavu s.r.o., kde mi bylo umožněno podílet se na zhotovení experimentálního svarového spoje pro moji diplomovou práci.

Bc. Jakub Pospíšil

Seznam použité literatury

- [1] SONDEL, M., SCHWARZ, D., KOUKAL, J. Ověření vlastností svarového spoje ocelí P91 a 15128 po dlouhodobé teplotní expozici. In: *Nové materiály, technologie a zařízení pro svařování: 13. ročník odborného semináře*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, s. 181-189. ISBN 978-80-248-2304-1.
- [2] HERNAS, A., JONŠTA, Z., TVRDÝ M., ČÍŽEK, I., PURMENSKÝ, J. *Žárupevné oceli a slitiny*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2009, 389 s. ISBN 978-80-248-2187-0.
- [3] KREJČÍ, L. Vlastnosti heterogenních svarových spojů žárovevných ocelí. In: *Nové materiály, technologie a zařízení pro svařování: 11. ročník odborného semináře*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 205-210. ISBN 978-80-248-1825-2.
- [4] KATALOG BÖHLER. *Welding filler metals for power plant engineering* [online]. 2008 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: http://www.mip-co.com/Download.ashx?f=/Uploads/Photos/welding_filler_metals_for_plant_engineering_01_2008.pdf
- [5] HAJDÍK, J. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů 9÷12% Cr modifikovaných žárupevných ocelí: autoreferát doktorské disertační práce*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011, 36 s. ISBN 978-80-248-2471-0.
- [6] VODÁREK, V. *Fyzikální metalurgie modifikovaných (9-12)%Cr ocelí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2003, 163 s. ISBN 80-248-0329-1.

- [7] PECHA, J., PELEŠ, O., VÝROSTKOVÁ, A., JEDINÁKOVÁ, M. Zváranie 9% Cr žiarupeznej ocele modifikovanej volfrámom. *Zváranie - Svařování*. 2004, roč. 53 č. 4, s. 86-92. ISSN 0044-5525
- [8] KOUKAL, J., SCHWARZ, D., SONDEL, M., HAJDÍK, J. *Svařitelnost a vlastnosti svarových spojů 9% Cr modifikovaných žárupevných ocelí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, 92 s. ISBN 978-80-248-2474-1.
- [9] ŁOMOZIK, M., ZEMAN, M., BRÓZDA, J. Modern martensitic steels for power industry. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2012, 12(1): s. 49-59
- [10] ČSN EN 10216-2+A2. *Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení - Technické dodací podmínky - Část 2: Trubky z nelegovaných a legovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při zvýšených teplotách*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [11] ENNIS, P. J., CZYRSKA-FILEMONOWICZ, A. Recent advances in creep-resistant steels for power plant applications. *Sadhana*. 2003, 28(3-4): s. 709-730.
- [12] KOUKAL, J. Úvod do problematiky svařování vybraných materiálů v energetice. *Zváranie - Svařování*. 2012, roč. 61 č. 5-6, s. 99-104. ISSN 0044-5525.
- [13] DOBRZAŃSKI, J., ZIELIŃSKI, A., SROKA, M. The influence of simultaneous impact of temperature and time on the properties and structure of X10CrWMoVNB9-2 steel. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*. Gliwice, Poland: International OCSCO World Press, 2009, roč. 34 č. 1, s. 7-14. ISSN 1734-8412

- [14] ENNIS, P. J. The Significance of Microstructural Changes and Steam Oxidation for the Service Life of Chromium Steel Components. In: *Creep & Fracture in High Temperature Components: Design & Life Assessment. Germany, 2005*, s. 279-287. ISBN 1-932078-49-5.
- [15] Mayr, P., Holzer, I. Microstructure evolution during production - General principles. In: *COST summer school, Lanzarote, 2008*.
- [16] BARTÁK, J. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2002, 418 s. ISBN 80-857-7197-7.
- [17] BARTÁK, J. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s. ISBN 80-857-7172-1.
- [18] Normy řady ISO 9000. In: *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/normy-serie-iso-9001-a-jejich-aplikace>
- [19] LAJCZYKOVÁ, M., SCHWARZ, D. Validace procesu realizace produktu na příkladu zvláštního procesu svařování kovů. In: *Katedra managementu kvality* [online]. 2011 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://katedry.fmfi.vsb.cz/639/qmag/mj86-cz.pdf>
- [20] HENNHOFFER, K. Požadavky na jakost při tavném svařování. In: *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 21.11.2006 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=54>

- [21] KUDĚLKA, V. Návod na zavedení ČSN EN ISO 3834 - 1 až 6: Požadavky na jakost při tavném svařování kovových materiálů. In: *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 7.1.2009 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=270>
- [22] ČSN EN ISO 15607. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Všeobecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 1.8.2004.
- [23] Kvalifikace postupů svařování. 2014. Český svářečský ústav [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.csuostrava.eu/index.php/cs/inspekce/kvalifikace-postupu-svarovani>
- [24] HAJDLÍK, J., SONDEL, M., SCHVARZ D. 2009. Nadstandartní požadavky na ověření vlastností svarových spojů při kvalifikaci postupů svařování. In: *Nové materiály, technologie a zařízení pro svařování: 12. ročník odborného semináře*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, s. 149-166. ISBN 978-80-248-2066-8.
- [25] SCHWARZ, D. 2007. Přehled ČSN EN a ČSN EN ISO norem použitých pro svařování v jaderné energetice. In: *Svařování v jaderné energetice III: odborné školení, 25.04-27.04.2007 : sborník přednášek*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, s. 37-60. ISBN 978-80-248-1403-2.
- [26] Kvalifikace postupů svařování kovových materiálů WPQR na základě zkoušek postupů obloukového a plamenového svařování ocelí a obloukového svařování niklu a slitin niklu dle ČSN EN ISO 15614-1. *Stavcert* [online]. 2008 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.stavcert.cz/cs/inspekce>
- [27] WPQR: Kvalifikace postupů svařování dle ISO 15614 -1 až 14. *Vaněk welding s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.vanek-welding-s-r-o.cz/iso-15614-1-az-14-kvalifikace-wpqr/>

Seznam příloh

Příloha A - Návrh protokolu o předběžné specifikaci postupu svařování (pWPS)

Příloha B - Záznam o svařování experimentálního vzorku

Příloha C - Návrh protokolu o kvalifikaci postupu svařování (WPQR)

Príloha A - Návrh protokolu o predbežnej špecifikácii postupu svařování (pWPS)

Predbežná špecifikace postupu svařování - pWPS	Akreditovaný postup	Registrační č.	Strana
	-	-	1/2

Norma:	-		
Doplňkové požadavky mimo rozsah:	-		
Postup svařování výrobce (pWPS):	-		
Datum svařování:	24.11.2014	Místo svařování:	Český svářečský ústav s.r.o.
Jméno svářeče:	-	Kvalifikace svářeče:	-

ZÁKLADNÍ MATERIÁL(Y) / PARENT MATERIAL(S)			
Značka dle standardu:	P92 (X10CrWMoVNb9-2)		
Další označení:	-		
Tloušťka:	28,0 mm	Vnější průměr:	273,0 mm

SVAŘOVACÍ MATERIÁLY (SM) / WELDING MATERIALS (WM)					
Index SM	Typ	Označení výrobce	Výrobce	Norma: Klasifikace	Režim sušení
A	Svař. drát	THERMANIT MTS 616	Bohler	EN ISO 21952-A - WZ CrMoWVNb 9 0,5 1,5	-
B	Ochr. plyn	Argon 4,6	Air Liquid	ČSN EN ISO 14175 - I1	-
C	Elektroda	THERMANIT MTS 616	Bohler	EN ISO 3580-A - E ZCrMoWVNb 9 0,5 2 B 42 H5	350°C/2h

SVAŘOVACÍ PODMÍNKY / WELDING CONDITIONS			
Typ svarového spoje:	Tupý svarový spoj na trubce	Označení zkušebního spoje:	-
Způsob přípravy úkosu:	Řezáním, soustružením	Způsob čištění:	Kartáčováním, broušením
Metoda svařování:	141 + 111	Poloha svařování:	Svar 1 - PC Svar 2 - PH
Wolframová elektroda (Typ/Velikost):	WT 20, ø 2,4 mm	Drážkování kořene:	-
Ochrana svaru (Index SM):	B	Množství:	13 l/min
Ochrana kořene (Index SM):	B	Množství:	9 l/min
Rozkvy (šířka housenky):	max. 12 mm	Vzdálenost kontaktní špičky:	7 mm
Údaje o pulsním svařování:	-	Sklon hořáku:	-
Další informace (je-li požadováno):	Stehováno před svařováním	Způsob přenosu kovu:	-

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ / HEAT TREATMENT			
PŘI SVAŘOVÁNÍ / DURING WELDING		PO SVAŘOVÁNÍ / AFTER WELDING (PWHT)	
Teplota předehřevu:	min. 200 °C	Rychlost ohřevu:	max. 100 °C / h
Interpass teplota:	max. 300 °C	Teplota/Čas výdrže:	760 °C / 4 h
Teplota/Čas dohřevu:	250 °C - 350 °C / 4 h	Rychlost ochlazování:	100 °C / h
Další informace:	-	Další informace:	-

Příloha B - Záznam o svařování experimentálního vzorku

ZÁZNAM O SVAŘOVÁNÍ SCHVÁLENÍ POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Akreditovaný postup	Registrační č.	Strana
	-	-	1/3

Norma:	-		
Doplňkové požadavky mimo rozsah:	-		
Postup svařování výrobce (pWPS):	-		
Datum svařování:	24.11.2014	Místo svařování:	Český svářečský ústav s.r.o.
Jméno svářeče:	-	Kvalifikace svářeče:	-

ZÁKLADNÍ MATERIÁL(Y) / PARENT MATERIAL(S)			
Značka dle standardu:	P92 (X10CrWMoVNB9-2)		
Další označení:	-		
Tloušťka:	28 mm	Vnější průměr:	273 mm

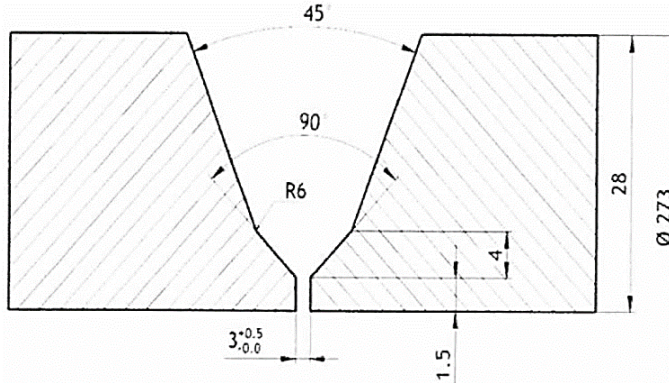
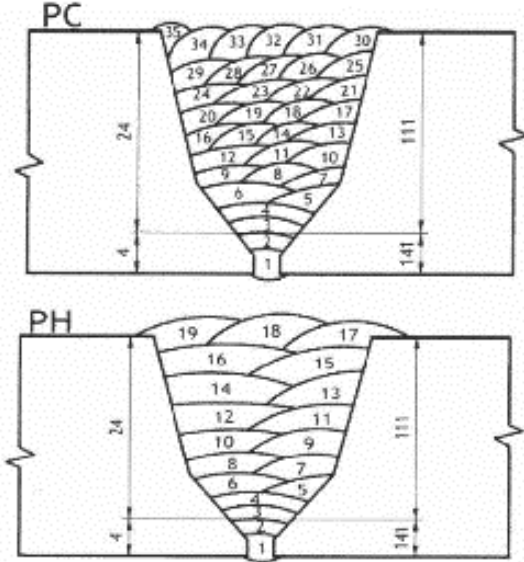
SVAŘOVACÍ MATERIÁLY (SM) / WELDING MATERIALS (WM)					
Index SM	Typ	Označení výrobce	Výrobce	Norma: Klasifikace	Režim sušení
A	Svař. drát	THERMANIT MTS 616	Bohler	EN ISO 21952-A - WZ CrMoWVNB 9 0,5 1,5	-
B	Ochr. plyn	Argon 4,6	Air Liquid	ČSN EN ISO 14175 - I1	-
C	Elektroda	THERMANIT MTS 616	Bohler	EN ISO 3580-A - E ZCrMoWVNB 9 0,5 2 B 42 H5	350°C/2h

SVAŘOVACÍ PODMÍNKY / WELDING CONDITIONS			
Typ svarového spoje:	Tupý svarový spoj na trubce	Označení zkušební spoje:	1R-2846/1,2
Způsob přípravy úkosu:	Řezáním, soustružením	Způsob čištění:	Kartáčováním, broušením
Metoda svařování:	141 + 111	Poloha svařování:	1R-2846/1 - PC 1R-2846/2 - PH
Wolframová elektroda (Typ/Velikost):	WT 20, ø 2,4 mm	Drážkování kořene:	-
Ochrana svaru (Index SM):	B	Množství:	13 l/min
Ochrana kořene (Index SM):	B	Množství:	9 l/min
Rozkvy (šířka housenky):	max. 12 mm	Vzdálenost kontaktní špičky:	7 mm
Údaje o pulsním svařování:	-	Sklon hořáku:	-
Další informace (je-li požadováno):	Stehováno před svařováním	Způsob přenosu kovu:	-

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ / HEAT TREATMENT			
PŘI SVAŘOVÁNÍ / DURING WELDING		PO SVAŘOVÁNÍ / AFTER WELDING (PWHT)	
Teplota předehřevu:	min. 200 °C	Rychlost ohřevu:	max. 100 °C / h
Interpass teplota:	max. 300 °C	Teplota/Čas výdrže:	760 °C / 4 h
Teplota/Čas dohřevu:	250 °C - 350 °C / 4 h	Rychlost ochlazování:	100 °C / h
Další informace:	-	Další informace:	-

ZÁZNAM O SVAŘOVÁNÍ SCHVÁLENÍ POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Akreditovaný postup	Registrační č.	Strana
	-	-	2/3

Podrobnosti o průběhu svařování / details of Welding

SCHÉMA SPOJE / JOINT DESIGN					POSTUP SVAŘOVÁNÍ / WELDING SEQUENCE				
									
PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ / WELDING PARAMETERS									
Housenka	Metoda svařování	Index SM	Průměr (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Typ proudu/polarita	Délka svaru (mm)	Čas svařování (s)	Interpass teplota (°C)
1R-2846/1 - PC									
1	141	A+B	2,0	95 - 100	9,5 - 10,5	DC/-	120	170	215
2	141	A+B	2,0	105 - 110	9,5 - 10,5	DC/-	100	162	250
3	111	C	2,5	80 - 90	21 - 23	DC/+	60	39	240
4	111	C	3,2	100 - 110	21 - 23	DC/+	100	69	255
5	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	200	59	225
6	111	C	3,2	100 - 110	21 - 23	DC/+	130	63	245
7	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	190	52	270
8	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	200	59	285
9	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	160	61	260
10	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	130	61	235
11	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	125	57	260
12	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	95	62	270
13	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	130	60	270
14	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	110	59	280
15	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	200	60	280
16	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	125	61	260
17	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	155	59	230
18	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	170	62	250

ZÁZNAM O SVAŘOVÁNÍ SCHVÁLENÍ POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Akreditovaný postup	Registrační č.	Strana
	-	-	3/3

Housenka	Metoda svařování	Index SM	Průměr (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Typ proudu/polarita	Délka svaru (mm)	Čas svařování (s)	Interpass teplota (°C)
19	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	150	58	265
20	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	145	59	240
21	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	160	56	240
22	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	205	62	245
23	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	140	62	270
24	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	110	63	260
25	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	210	60	230
26	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	160	62	260
27	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	185	65	270
28	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	200	65	250
29	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	200	66	255
30	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	200	55	230
31	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	225	63	225
32	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	210	65	240
33	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	235	69	260
34	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	250	67	270
35	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	220	48	270

1R-2846/2 - PH

1	141	A+B	2,0	95 - 100	9,5 - 10,5	DC/-	120	170	215
2	141	A+B	2,0	105 - 110	9,5 - 10,5	DC/-	100	162	250
3	111	C	2,5	80 - 90	21 - 32	DC/+	60	39	240
4	111	C	3,2	100 - 110	21 - 32	DC/+	100	69	255
5	111	C	3,2	100 - 110	21 - 32	DC/+	100	52	205
6	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	64	220
7	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	110	65	240
8	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	62	245
9	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	63	260
10	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	65	250
11	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	100	56	210
12	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	100	59	230
13	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	95	64	260
14	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	95	63	260
15	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	61	220
16	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	70	65	230
17	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	90	57	250
18	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	100	66	230
19	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	110	56	270

Další informace:

Svařovací zdroj: Fronius Transtig 2200 S/N:25401605
Multimetr: OMEGA HHM599, S. No.: 04000062
Teploměr: OMEGA HH22, S.No.: T263285

Příloha C - Návrh protokolu o kvalifikaci postupu svařování (WPQR)

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

VÝROBCE	ZKUŠEBNÍ ORGÁN
-	-

NORMA: ČSN EN ISO 15614 - 1			
Doplňkové požadavky mimo rozsah normy:		PED – ES 97 /23 EC, ČSN EN 13480	
Postup svařování výrobce:		P92 / 273	
Datum svařování:	24.11.2014	Místo svařování:	Český svářečský ústav s.r.o.
Jméno Svářeče:	-	Klasifikace svářeče:	EN 287-1 141 T BW 5 S t12,5 D50,0 H-L045 ss nb

ZÁKLADNÍ MATERIÁL(Y)			
Značka dle standardu:	X10CrWMoVNB9-2 dle EN 10216-2		
Další označení:	P92		
Číslo materiálové skupiny:	6.4 dle TNI CEN ISO/TR 15608:2008		
Dodací podmínky:	ČSN EN 10216-2		
Tloušťka:	28,0 mm	Vnější průměr:	273,0 mm

SVAŘOVACÍ MATERIÁL(Y)					
Index	Typ	Označení výrobce	Výrobce	Norma: Klasifikace	Režim sušení
A	Svařovací drát	THERMANIT MTS 616	Boehler	EN ISO 21952 – A –W CrMoWVNb 9 0,5 1,5	-
B	Ochranný plyn	Argon 4,6	Air Liquide	ČSN EN ISO 14175 - II	-
C	Elektroda	THERMANIT MTS 616	Boehler	EN ISO 3580-A - E ZCrMoWVNb 9 0,5 2 B 42 H5	350°C/2h

SVAŘOVACÍ PODMÍNKY			
Typ svarového spoje:	Tupý svar na trubce (BW)	Označení spoje:	1R – 2846 / 1,2
Způsob přípravy úkosu:	Řezáním, soustružením	Způsob čištění:	Broušením, kartáčováním
Metoda svařování:	141 + 111	Poloha svařování:	1R – 2846 / 1: PC 1R – 2846 / 2: PH
Prodloužení (typ, materiál, rozměry):	-		
Wolframová elektroda (Typ/Velikost):	WC 20 / Ø 2,4 mm	Drážkování kořene:	-
Ochrana svaru (Index SM):	B	Množství:	13 l/min
Ochrana kořene (Index SM):	B	Množství:	9 l/min
Rozkvy (šířka housenky):	max. 12 mm	Vzdálenost kontaktní špičky:	7 mm
Údaje o pulzním svařování:	-	Sklon hořáku:	-
Další informace (je-li požadováno):	Stehováno před svařováním	Způsob přenosu kovu:	-

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

PODROBNOSTI O PRŮBĚHU SVAŘOVÁNÍ

SCHÉMA SPOJE	POSTUP SVAŘOVÁNÍ

PARAMETRY SVAŘOVÁNÍ

Housenka	Metoda svařování	Index SM	Průměr (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Typ proudu / polarita	Rychlost svařování (mm/s)	Rychlost podávání drátu (m/min)	Tepelný příkon (kJ/mm)
1R – 2846/1: PC									
1	141	A+B	2,0	95 - 110	9,5 - 10,5	DC/-	0,7	-	0,84
2	141	A+B	2,0	105 - 110	9,5 - 10,5	DC/-	0,6	-	1,08
3	111	C	2,5	80 - 90	21 - 23	DC/+	1,5	-	0,74
4	111	C	3,2	100 - 110	21 - 23	DC/+	1,4	-	0,96
5	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	3,3	-	0,46
6	111	C	3,2	100 - 110	21 - 23	DC/+	2,1	-	0,74
7	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,6	-	0,59
8	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	1,2	-	1,27
9	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,6	-	0,59
10	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,1	-	0,71
11	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,2	-	0,69
12	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	1,5	-	1,01
13	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	1,9	-	0,82
14	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	3,3	-	0,46
15	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,0	-	0,76
16	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,6	-	0,59
17	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,7	-	0,56
18	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,7	-	0,56

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

Housenka	Metoda svařování	Index SM	Průměr (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Typ proudu/polarita	Rychlost svařování (mm·s ⁻¹)	Rychlost podávání drátu (m/min)	Tepelný příkon (kJ·mm ⁻¹)
19	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,6	-	0,59
20	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,5	-	0,62
21	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,9	-	0,53
22	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	3,3	-	0,46
23	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	2,3	-	0,68
24	111	C	3,2	110 - 120	21 - 23	DC/+	1,7	-	0,89
25	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	3,5	-	0,42
26	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	2,6	-	0,56
27	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	2,8	-	0,52
28	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	3,1	-	0,47
29	111	C	3,2	105 - 115	21 - 23	DC/+	3,0	-	0,48
30	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	3,6	-	0,36
31	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	3,6	-	0,37
32	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	3,6	-	0,37
33	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	3,4	-	0,39
34	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	3,7	-	0,36
35	111	C	3,2	95 - 105	21 - 23	DC/+	4,6	-	0,29

1R – 2846 / 2: PH

1	141	A+B	2,0	95 - 100	9,5 - 10,5	DC/-	0,7	-	0,84
2	141	A+B	2,0	105 - 110	9,5 - 10,5	DC/-	0,6	-	1,13
3	111	C	2,5	80 - 90	21 - 32	DC/+	1,5	-	0,75
4	111	C	3,2	100 - 110	21 - 32	DC/+	1,4	-	0,96
5	111	C	3,2	100 - 110	21 - 32	DC/+	1,9	-	0,72
6	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,6	-	0,93
7	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,7	-	0,86
8	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,6	-	0,91
9	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,6	-	0,91
10	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,6	-	0,91
11	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	1,8	-	0,85
12	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	1,7	-	0,90
13	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	1,5	-	1,03
14	111	C	3,2	110 - 120	21 - 32	DC/+	1,5	-	1,01
15	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	0,9	-	1,62
16	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	1,0	-	1,46
17	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	0,9	-	1,62
18	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	0,7	-	2,08
19	111	C	3,2	105 - 115	21 - 32	DC/+	0,8	-	1,82

Další informace:

Svařovací zdroj: Fronius Transtig 2200 S/N:25401605
Multimetr: OMEGA HHM599, S. No.: 04000062
Teploměr: OMEGA HH22, S.No.: T263285

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ			
PŘI SVAŘOVÁNÍ		PO SVAŘOVÁNÍ	
Teplota předehřevu:	min. 200 °C	Rychlost ohřevu:	max. 100 °C / 1h
Interpass teplota:	max. 300 °C	Teplota/Čas výdrže:	760 °C / 4h
Teplota/Čas dohřevu:	250 °C - 350 °C / 4h	Rychlost ochlazování:	100 °C / 1h
Další informace:	-	Další informace:	-

VÝSLEDKY ZKOUŠEK

NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

Zkouška	Prováděcí předpis	Požadavek dle předpisu	Provedl	Číslo protokolu	Výsledek
Vizuální kontrola VT	ČSN EN ISO 17637	ČSN EN ISO 5817 Stupeň jakosti B	ČSÚ s.r.o Ostrava	1R-2846/VTP	Vyhovující
Zkouška kapilární PT	ČSN EN ISO 3452 -1	ČSN EN ISO 23277	Controllest s.r.o	ČSÚ/241-PT/2014	Vyhovující
Zkouška prozářením RT	ČSN EN ISO 17636-1B	ČSN EN ISO 10675-1 Stupeň přípustnosti 1	Controllest s.r.o	ČSÚ/239-RT/2014	Vyhovující

DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY

Příčná zkouška tahem						
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 6892-1			Číslo protokolu:	18900M14 Vítkovice Testing center s.r.o
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1			Výsledek:	Vyhovující
Vzorek	Teplota [°C]	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]	Z [%]	Místo porušení
Požadavek:	+20	min. 620	-	-	-	-
2846 /1/ T1	+20	626	-	-	-	mimo svar
2846 /1/ T2	+20	622	-	-	-	mimo svar

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

Zkouška ohybem							
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 5173			Číslo protokolu:	18900M14 Vítkovice Testing center s.r.o	
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1			Výsledek:	Vyhovující	
Vzorek	Teplota [°C]	Ø trnu [mm]	Vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm]	Úhel ohybu [°]	Tažená strana	Výsledek	Poznámky
Požadavek:	+20	57	87	180	-		
2846 /1/ O1	+20	57	87	180	Boční	Vyhovující	Bez trhlin
2846 /1/ O2	+20	57	87	180	Boční	Vyhovující	Bez trhlin
2846 /1/ O3	+20	57	87	180	Boční	Vyhovující	Bez trhlin
2846 /1/ O4	+20	57	87	180	Boční	Vyhovující	Bez trhlin

Zkouška rázem v ohybu							
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 148 - 1			Číslo protokolu:	18900M14 Vítkovice Testing center s.r.o	
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN 13480			Výsledek:	Vyhovující	
Vzorek	Teplota [°C]	Umístění vzorku	Jednotlivé hodnoty [J]			Průměr [J]	Poznámky
Požadavek:	+20	-	-	-	-	min. 27	-
2846 /2/ V1-V3	+20	VWT 0/2	65	56	54	58	KV ₂
2846 /2/ V4-V6	+20	VHT 2/2	110	107	121	113	KV ₂

Zkouška tvrdosti							
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 9015-1				Číslo protokolu:	18900M14 Vítkovice Testing center s.r.o
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1				Výsledek:	Vyhovující
Vzorek	max. ZM	max. TOO	max. SK	max. TOO	max. ZM	Umístění jednotlivých vpichů viz protokol. Č 18900M14 Vítkovice Testing Center s.r.o	
Požadavek:	max. 350 HV 10						
2846 /1/ h1	196	254	247	238	191		
2846 /1/ H2	192	254	262	221	180		

Zkouška makrostruktury			
Prováděcí předpis:		ČSN EN ISO 17639	Číslo protokolu: P/3457/14 Vítkovice Testing center s.r.o
Požadavek dle předpisu:		ČSN EN ISO 15614-1 ČSN EN ISO 5817	Výsledek: Vyhovující
Požadavek:	Vady na zkušebním kusu se musí pohybovat v rozsahu stupně jakosti B dle ČSN EN ISO 5817, kromě vad č. 502, 503, 504, 5214, které mohou být v rozsahu stupně jakosti C.		
Poznámky:	Vady nebyly na zkušebních kusech identifikovány.		

WPQR – PROTOKOL O KVALIFIKACI POSTUPU SVAŘOVÁNÍ	Inspekční postup	Registrační č.	č. WPQR
	-	-	-

POTVRZENÍ

Výsledky zkoušek jsou vyhovující	
Inspekci provedl a protokol vystavil:	
Potvrzuje se, že zkušební svary byly uspokojivě připraveny, svařovány a zkoušeny v souladu s podmínkami výše uvedených předpisů, respektive zkušebních norem.	
VÝROBCE	ZKUŠEBNÍ ORGÁN
Datum:	Datum:
Razítko:	Razítko:
Podpis:	Podpis:
Převzal:	Schválil:

KVALIFIKACE

Kvalifikace postupu svařování byla provedena ve smyslu bodu 3.1.2 přílohy č. 1 k nařízení vlády č. 26/2003 Sb., u tlakových zařízení kategorií II, III, IV, stanovených k posuzování schody podle § 12 ods. 1 zákona 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů, citovaným nařízením vlády.

Kvalifikace
Datum:
Razítko:
Schválil: